

К Л А С С И К И ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ПОД ОБЩЕЙ
РЕДАКЦИЕЙ

И. И. АГОЛА, С. И. ВАВИЛОВА,
М. Я. ВЫГОДСКОГО, Б. М. ГЕССЕНА,
М. Л. ЛЕВИНА, А. А. МАКСИМОВА,
А. А. МИХАЙЛОВА, И. П. РОЦЕНА,
А. Я. ХИНЧИНА

НАЧАЛА ГИДРОСТАТИКИ

✱

АРХИМЕД
СТЭВИН
ГАЛИЛЕЙ
ПАСКАЛЬ

✱

ПЕРЕВОД, ПРИМЕЧАНИЯ
И ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ
А.Н.ДОЛГОВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА • МСМХХХІІІ • ЛЕНИНГРАД

Редакционную работу по этой книге провел *Г. А. Волперт*. Издание оформил *А. И. Архангельский*. Орпаментация — *Н. Ф. Герберга* и *А. Н. Радищева*. Корректуру держал *С. Ф. Морозикин*. Наблюдал за выпуском *Н. А. Сахаров*.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей небольшой работе, выпускаемой сейчас вторым изданием, я задался целью привлечь внимание читателей к истории установления начал гидростатики — вопросу, представляющему несомненный интерес и в наше время. В самом деле, основные законы гидростатики были найдены и достаточно строго доказаны путем элементарных геометрических и механических рассуждений, доступных пониманию и тех, кто незнаком с высшей математикой; рассуждения эти не утратили своего значения и до настоящего времени, так как они в высшей степени натуральны и не столь отличаются от современных методов изложения, как хотя бы древние попытки обоснования законов рычага и наклонной плоскости. Вследствие этого они могут служить прекрасным дополнением к несколько догматическим формулировкам гидростатических принципов в учебниках физики и формально точным и строгим построениям, встречающимся в современных курсах гидравлики, но довольно часто вызывающим у учащихся своеобразную «математическую аберрацию», при которой

неправильность конечного вывода, получившаяся в результате случайной ошибки в математических рассуждениях, остается незамеченной, несмотря на явную абсурдность; с этим явлением мне неоднократно приходилось встречаться при занятиях даже со студентами старших курсов. Мне думается поэтому, что настоящая работа может не только привлечь некоторое внимание лиц, интересующихся историей точного знания, но и служить пособием для преподавателей физики и начальной механики, а также учащихся, занимающихся гидравликой.

Основное содержание настоящей книги составляют четыре главных труда, в которых изложены начала гидростатики, именно: книга I трактата «О плавающих телах» Архимеда, «Начала гидростатики» Стэвина, «Рассуждение о телах, пребывающих в воде, и о тех, которые в ней движутся» Галилея и «Трактат о равновесии жидкостей» Паскаля. Перевод их выполнен с возможной точностью и снабжен краткими примечаниями, содержащими как библиографические указания, так и замечания, необходимые для свободного чтения текста современными читателями, привыкшими к несколько иным формулировкам.

Этот путь ознакомления читателей с началами гидростатики я предпочел изложению мыслей указанных авторов своими словами, хотя последний путь, вероятно, несколько сократил бы объем настоящего издания. Однако при этом неизбежно утратилась бы

одна из привлекательнейших сторон ознакомления с творениями этих великих ученых, именно, возможность непосредственного изучения самого способа изложения мыслей, свойственного каждому из них, и частично — характера эпохи, к которой относятся их произведения. Кроме того, отдельные мысли и замечания этих творцов науки, которые иногда не относятся непосредственно к данной теме и потому неизбежно были бы опущены при изложении, способны вызвать в нас новые ценные представления, отличные от уже сложившихся, поскольку чтение подлинного текста позволяет нам в ряде случаев усмотреть, как вырабатывались и устанавливались самые методы научного познания. Вероятно, многие из нас испытывали неудовлетворенность краткостью извлечений и цитат, встречаемых в очерках по истории точного знания. И если в трудах по истории общей механики или физики, использующих огромное количество разнообразных сочинений, мы вынуждены ограничиваться лишь ссылками на них или краткими выдержками, то в данном случае при небольшом объеме издания я счел вполне уместным поместить рассматриваемые работы в возможно полном виде.

Указанным четырем трактатам предпосылается краткое введение, в котором мною сделана попытка проследить связь отдельных законов гидростатики как между собою, так и с общими принципами механики, на фоне общего уровня механических

познаний того времени. Выполняя эту работу, я стремился не обременять читателя слишком большим количеством библиографических указаний и ограничился только наиболее существенным. Во избежание возможных недоразумений я всегда отмечал в тексте, откуда позаимствованы те или иные приводимые мною цитаты или ссылки; это тем более необходимо, что в некоторых, правда, редких случаях я вынужден был пользоваться не оригинальными сочинениями или их переводами, а только ссылками на них других авторов.

При составлении примечаний к трактатам я также старался свести количество их к возможному минимуму и, предполагая, что начала современной физики и механики читателям известны, оставил без пояснения многие места трактатов, которые кажутся нам сейчас устарелыми, но надлежащее истолкование которых на основе даже элементарных современных научных познаний не представит труда для самих читателей. В особенности это относится к трактату Галилея о плавающих телах. Что касается порядка ознакомления с настоящей работой, то я рекомендовал бы читателю, в руки которого попадет эта книга, сперва бегло просмотреть «Введение», а затем обратиться к изучению работ Архимеда, Стэвина, Галилея и Паскаля, а также наших к ним примечаний; после этого ему следует вновь прочесть «Введение» и, если оно его не удовлетворит, то обратиться непосредственно к тем рабо-

там, на которые имеются ссылки как на отправные в этой отрасли знания.

В заключение позволю себе отметить, что импульсом к работам в области гидростатики, лежащим достаточно далеко от моей практической деятельности, явились указания моего покойного учителя А. Ф. Гатлиха, преподавателя б. Высших женских курсов в Москве, который вместе с также покойным проф. Б. К. Млодзеевским, бывшим в то время председателем Московского математического кружка, побудил меня еще в 1906 г. начать заниматься изучением истории механики и переводом на русский язык некоторых классических работ в этой области. Материал для настоящей книги собирался мною в течение длительного времени, но закончить ее мне удалось только сейчас, когда я снова нашел доступ к некоторым необходимым изданиям, в частности, сочинениям Стэвина и Леонардо да-Винчи.

Настоящее второе издание «Начал гидростатики» отличается от первого только в части оформления графических изображений и введения, которое подверглось некоторой переработке; что же касается перевода помещаемых трудов и примечаний к ним, то они остались без всяких изменений.

А. Домов,

А.Н.ДОЛГОВ

**КРАТКИЙ ОЧЕРК
ИСТОРИИ
ГИДРОСТАТИКИ**

*«... ФИЛОСОФИЯ НАПИСАНА В ВЕЛИЧАЙ-
ШЕЙ КНИГЕ, КОТОРАЯ ПОСТОЯННО ОТ-
КРЫТА НАШИМ ГЛАЗАМ (Я ГОВОРЮ О
ВСЕЛЕННОЙ); НО НЕЛЬЗЯ ЕЕ ПОНЯТЬ, НЕ
НАУЧИВШИСЬ СПЕРВА ПОНИМАТЬ ЯЗЫК
И РАЗЛИЧАТЬ ЗНАКИ; КОТОРЫМИ ОНА НА-
ПИСАНА. НАПИСАНА ЖЕ ОНА ЯЗЫКОМ
МАТЕМАТИЧЕСКИМ, И ЗНАКИ ЕЕ СУТЬ ТРЕ-
УГОЛЬНИКИ, КРУГИ И ДРУГИЕ МАТЕМА-
ТИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ...»*

ГАЛИЛЕЙ, «*n Saggiatore*».

1623 г.

Гидростатика рассматривается в настоящее время как отдел гидромеханики, посвященный теории равновесия жидкостей. В основу гидростатики кладется представление о жидкости как о веществе частицы которого обязательно будут скользить одна относительно другой под действием силы, стремящейся заставить их скользить, как бы ни была мала эта последняя; вязкость жидкости не может уничтожить этого скольжения, она может только замедлить его; усилия, необходимые для отделения частей жидкости друг от друга, вообще говоря,

ничтожны, и ими обычно пренебрегают. Отсюда естественно вытекает, что в покоящейся жидкости все внутренние усилия приводятся к давлениям, направленным нормально к плоским поверхностям или бесконечно малым элементарным площадям сплошных поверхностей. Пользуясь, далее, методами математического анализа, нетрудно установить понятия гидростатического давления в каждой данной точке жидкости, поверхности равного давления, поверхности уровня и т. д., а затем вывести как частные случаи общей теории равновесия жидкостей закон Архимеда, закон Паскаля, правила определения давления жидкости на стенку сосуда и т. д.

Установление этой стройной и строгой логической системы познаний в области гидростатики как части единой системы гидромеханики, охватывающей механику всякого рода жидкостей (т. е. капельных и газообразных), совершалось в течение длительного периода. Действительно, накопление эмпирических данных в области гидравлики, их критическая проверка, отыскание и обоснование отдельных частных законов гидростатики, попытки приложения общих законов механики к объяснению гидростатических явлений, впоследствии же и математическая обработка теории равновесия жидкостей как особого раздела гидромеханики — все это шло параллельно с общим прогрессом физико-математических наук, понимаемых в самом широком смысле этого слова; развитие же последних совершалось постепенно

в течение многих веков в соответствии с изменением социальных и экономических условий жизни человечества, поскольку «уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством» (Ф. Энгельс, «Диалектика природы», изд. 1930 г., стр. 48).

Поэтому, желая определить историческую последовательность установления основных законов гидростатики и страны, в которых оно имело место, мы вынуждены коснуться многих исторических периодов, начиная с древнейших. При этом мы должны помнить указание Маркса, что «необходимость общественно контролировать какую-либо силу в интересах хозяйства, необходимость в крупном масштабе использовать ее или сдерживать ее разрушительные действия при помощи сооружений, возведенных рукой человека, играет решающую роль в истории промышленности. Примером может послужить регулирование воды в Египте, Ломбардии, Голландии и т. д., или в Индии, Персии и т. д.» (К. Маркс), «Капитал», изд. 1931 г., том I, гл. 14, стр. 399) Действительно, из дальнейшего будет видно, что многие из тех стран, которые отмечены Марксом как наиболее зависимые от вопросов регулирования стока вод, оказались первыми и в деле развития основ гидростатики: таковы Италия, Голландия и отчасти Египет (Александрийская школа ученых); к ним приходится прибавить еще Грецию с ее сильно развитым судоходством, которое, так же как и регу-

лирование стока вод, оказало существеннейшее влияние на развитие гидромеханики.

I

Требования практической жизни побудили человечество заняться вопросами, относимыми сейчас к области «практической гидравлики», за много и много веков до начала нашей эры. Имеющиеся сведения о построении различных водяных колес как для подъема воды, так и для эксплуатации водной силы, конструировании судов относительно большого водоизмещения, устройстве оросительных систем, строительстве водопроводов в городах Ассирии и Вавилонии, воздвижении других гидротехнических сооружений (описанных, между прочим, в прекрасном труде: *Curt Merckel*, «Die Ingenieurtechnik im Altertum», Berlin 1899) и т. д. убедительно свидетельствуют о больших достижениях древних в указанном направлении. Тем не менее, мы можем не входить в их рассмотрение, поскольку нас интересуют вопросы теоретического обоснования гидростатики, а не истории практической гидравлики. В самом деле, изучая соответствующие материалы, мы убедимся, что все эти работы древних были основаны исключительно на эмпирических данных и не базировались на каких-либо выявленных принципах гидромеханики. Иного, конечно, не могло и быть, так как общее состояние математических, физических и механических познаний того времени

не позволяло еще перейти к анализу гидростатических явлений и установлению основных свойств жидкостей.

Несколько иное положение мы можем рассчитывать найти, обращаясь к истории греческой науки и техники, поскольку общие условия жизни Греции благоприятствовали усиленному развитию инженерного искусства, техники и механики, что и позволило древним греческим ученым заложить фундамент ряда отраслей точного знания.

Среди древних греческих авторов наше внимание, естественно, должно быть обращено прежде всего на работы «великого стагирита», т. е. уроженца г. Стагиры, Аристотеля, жившего с 384 по 325 г. до начала нашей эры и в течение ряда веков оказывавшего сильнейшее влияние (и положительное и отрицательное) на дальнейшее развитие научной мысли, так что «история Аристотеля», по меткому выражению Дж. Г. Льюиса, «стала на несколько столетий историей знания» (цитирую по немецкому изданию — *Lewes*, «Aristoteles», Leipzig 1865).

Творец логики, неутомимый естествоиспытатель, знаток этики, политики и риторики — Аристотель является поразительным примером всестороннего ученого, имя которого нельзя обойти молчанием, касаясь многих отраслей древней науки. Независимо от того, откуда Аристотель черпал свои познания и насколько велико было влияние на него его предшественников, принадлежавших к другим нациям и

иным древним школам, все же приходится признать, повторяя слова проф. Виндельбанда, что «... философия Аристотеля всеобъемлющим образом заключала в себе все знания того времени, причем многие отрасли науки получили в ней значительное развитие. Ко всем отраслям относится она с одинаковым пониманием... В достойной удивления всесторонности своих трудов он является воплощением греческой науки. Вот почему для двух тысячелетий оставался он философом» (В. Виндельбанд, «История древней философии». Перевод под редакцией проф. Введенского, 1908 г.). Это несколько выспренное суждение известного знатока философии достаточно справедливо по отношению к трудам Аристотеля в перечисленных выше отраслях знания.

Однако в специальных областях физики, астрономии и отчасти механики Аристотелю, вообще говоря, не удалось достигнуть столь же разительных результатов. В эту группу его работ входят следующие дошедшие до нас сочинения: «Физика», «О небе», «О возникновении и уничтожении», «Метеорология», «Проблемы механики». Физика разделена всего на восемь книг, из которых четыре первых трактуют, главным образом, о первоначальных принципах объяснения природы, а остальные — о движении; при этом седьмая книга производит впечатление не законченной работы, а первоначального наброска. Что касается «Проблем механики», то существует сомнение, принадлежат ли они спол-

на Аристотелю. Однако наиболее существенные части этой работы, безусловно, обязаны ему своим происхождением. Некоторые физико-математические сочинения Аристотеля до нас не дошли; сохранившийся и приписываемый ему трактат «О космосе» считается подложным.

В указанных работах Аристотеля замечается, с одной стороны, недостаточность опытных данных и обусловливаемая этим шаткость основных гипотез, которые отличают начало всякой науки, а с другой,— переоценка значения слова как выразителя понятия и пристрастие к формальным логическим построениям, посредством которых древние пытались познать «истинную сущность» вещей, исходя из некоторых начальных принципов; а поскольку последние были часто неправильными, и выводы получались ошибочными.

Так, логическая необходимость объяснять покой и движение тел самой сущностью последних, разделение «элементов», из которых состоят тела, а вместе с тем и самих тел, на абсолютно легкие и абсолютно тяжелые, признание одних движений собственными, а других—не собственными земным телам,— все это сделало механику Аристотеля, в общем, неудачной. Особенно это относится к гидромеханике. В самом деле, установление понятия абсолютно легкого и абсолютно тяжелого заставило Аристотеля принять, что вода не может оказывать давление на землю,

а воздух — на воду, благодаря чему для объяснения явления всасывания ему пришлось принять гипотезу, что «природа не терпит пустоты», хотя он знал, что воздух имеет вес и пытался даже определить его; это же обстоятельство не позволило Аристотелю установить понятие «удельного веса», хотя он и был довольно близок к этому.

Необходимо, впрочем, иметь в виду, что ошибочность ряда положений, установленных Аристотелем, могла быть доказана лишь спустя очень длительный промежуток времени (в частности, это относится к идее *horror vacui*, окончательно отброшенной лишь в половине XVII в. после работ Торричелли и Паскаля), и что наличие у некоторых противников Аристотеля более правильных, чем у последнего, воззрений на отдельные частные вопросы (см., например, спор между Аристотелем и Демокритом, изложенный в конце трактата Галилея о плавающих телах) долгое время не могло поколебать его системы научных воззрений или создать фундамент для какой-либо новой системы, которая могла бы быть ей противопоставлена в целом.

Указанные выше недостатки гидромеханических воззрений Аристотеля несколько, однако, не умаляют его заслуг в деле установления общемеханического принципа «моментов» (или «возможных перемещений», как принято выражаться в настоящее время). В нашу задачу отнюдь не входит изложение основ истории общей механики. Но, поскольку в своем

трактате о плавающих телах, подлежащем нашему особому рассмотрению, Галилей положил этот принцип в обоснование закона Архимеда, нам представляется необходимым остановиться на этом вопросе достаточно подробно.

Упомянутые выше «Проблемы механики» (*«Μηχανικα Προβλήματα»*), «*Quaestiones Mechanicae*» (Аристотеля) состоят из нескольких глав, причем первая из них начинается с замечания, что благодаря искусству получаются удивительные результаты, т. е. такие, которые противоречат природе. К таковым он относит то, что малое перевешивает большое, что незначительный вес движет тяжелые грузы и т. д. Объяснение этому он ищет в свойствах круга, ибо «...ничего нет странного в том, что из удивительного проистекает нечто удивительное. Но самое удивительное есть соединение в одном противоположных свойств. А круг действительно есть соединение таковых. Его порождает нечто движущееся и нечто пребывающее на своем месте, т. е. противоположное одно другому по своей природе; поэтому приходится и меньше удивляться проявляющимся в нем противоположностям. Нечто противоположное проявляется, прежде всего, в линии, объемлющей круг, которая не имеет ширины; это — выпуклое и вогнутое, которые так же отличаются одно от другого, как большое и малое, и между которыми посреди лежит прямая так же, как между последними равное. Поэтому, если одно должно перейти в другое,

то или они сами, или их внешние противоположности должны сперва выравняться, и выпуклое, чтобы стать вогнутым или, наоборот, должно сперва стать прямым. Отсюда вытекает первая (кажущаяся) изумительность в существе круга. Дальнейшая заключается в том, что он в одно и то же время движется в противоположных направлениях, именно, — вперед и в то же время назад. Прямая линия, описывающая круг, приходит обратно к той же своей внешней конечной точке, из которой она вышла. Последнее в ее непрерывном поступательном движении является первым, откуда видно обращение ее пути. Поэтому, как сказано, ничего нет странного в том, что круг является первопричиной всех этих изумительных явлений; действительно, свойства коромысла весов сводятся к таковым же круга; свойства рычага — к таковым же коромысла весов, а большинство остальных особенностей движения механизмов — к свойствам рычага. Сверх того, ни одна из точек линии, описывающей круг, не обладает той же скоростью, как какая-либо другая, и обладает тем большей скоростью, чем дальше она лежит от конечной неподвижной точки прямой; отсюда проистекает много удивительных свойств движений по кругу, о которых будет идти речь в дальнейшем...» (цитирую по немецкому переводу, изданному отдельной брошюрой с предисловием проф. М. Рюльмана: «*Aristoteles Mechanische*

Probleme — Quaestiones Mechanicae», — von *F. T. Poselger*, Dr. phil., Hannover 1881, стр. 24—25; указанный перевод был впервые опубликован Позельгером в 1829 г.; параллельный греческий и латинский текст «Проблем механики» можно найти в прекрасном издании: «*Aristoteles Quaestiones Mechanicae recensuit et illustravit Johannes Petrus van Cappelle*», Amstelodami 1812).

В дальнейшем Аристотель исследует причину и величину движения точки, расположенной на окружности круга, вращающегося около своего центра. Основанием для этого исследования является теорема о параллелограмме скоростей, которой он дает довольно строгое геометрическое доказательство. Движение же точки по окружности он представляет себе состоящим из двух движений: одного — направленного по касательной к окружности в этой точке, и другого — направленного по радиусу, соединяющему подвижную точку с центром. Первое движение он называет естественным, а второе — противоестественным, и разбирает условия этого движения, обращаясь к ранее указанным им свойствам круга.

В главе 4 Аристотель задается вопросом: «Почему малые силы, как уже было сказано вначале, движут при помощи рычага большие грузы, несмотря на прибавление веса рычага? — Ведь без последнего они весят меньше, а меньший вес легче приводится в движение. Не потому ли рычаг является причиной этого движения, что он представляет собою коро-

мысло весов, имеющее снизу точку опоры, делящую его на неравные части? В самом деле, точка опоры рычага является здесь точкой подвеса, и она, как центр, пребывает в покое; если оба плеча одинаковы по весу, то при равных грузах. больший радиус движется быстрее, чем короткий. В рычаге соединяются три точки — опоры, подвеса и центр — и два груза — движущий и движимый. Но движимый и движущий грузы находятся в обратном отношении их расстояний (от центра); и всегда движение происходит тем легче, чем дальше от центра расположен движущий груз; причина этому, как уже отмечено, та, что больший радиус описывает и больший круг; поэтому при одной и той же силе движущий груз пройдет тем большее расстояние, чем дальше он от точки опоры...» (стр. 28—29 указанной брошюры Позельгера).

Если отвлечься от малопонятных и потому мало-доказательных для нас философских ссылок на изумительные свойства круга, то придется отметить, что последняя из приведенных цитат содержит в себе совершенно ясную мысль, из которой, как из зерна, развился современный принцип возможных перемещений; текст же, особо выделенный нами в первой цитате, свидетельствует о том, что Аристотель превосходно сознавал большую общность своих механических представлений. В этом его огромная заслуга в области механики. Авторитетный исследователь начал статики П. Дюгем считает даже,

что «...если бы Аристотель сформулировал только одну эту мысль, то и тогда его надлежало бы прославлять как отца рациональной механики» («Les origines de la statique» par *P. Duhem*, Paris 1905, ч. I, стр. 8).

Каким образом указанные общие механические идеи Аристотеля были впоследствии приложены к гидростатике и использованы Галилеем в его трактате о плавающих телах, будет видно из дальнейшего.

II

Нарушая хронологическую последовательность изложения, которая обязывала бы нас перейти к рассмотрению работ в области гидромеханики Архимеда, жившего несколько позже Аристотеля (с 287 по 212 г. до начала нашей эры), мы обратимся сейчас к более поздним работам ученых Александрийской школы, именно, — Ктезибия, Филона Византийского и Герона Александрийского, в которых, казалось бы, мы могли найти некоторые теоретические элементы гидромеханики.

Вопросу о том, к какой эпохе относится деятельность этих древних, посвящено большое количество специальных исследований; объясняется это отсутствием прямых данных хронологического порядка, касающихся указанных ученых, и необходимостью решать вопрос на основании лишь косвенных свидетельств других древних авторов. Разногласия по этому вопросу окончательно еще не изжиты; все же

можно считать почти достоверным, что расцвет деятельности Ктезибия имел место в 175—165 гг. до начала нашей эры, и что Филон Византийский был младшим современником Ктезибия, которого он неоднократно цитирует в своих работах; Герон Александрийский, по всей вероятности, был учеником Ктезибия; по крайней мере, об этом свидетельствуют названия некоторых его работ на греческом, арабском и латинском языках. Отсутствие упоминания имени Герона в сочинениях Плиния и особенно Витрувия, который неоднократно называет Ктезибия, рассматривается некоторыми как доказательство того, что Герон жил позже Витрувия (т. е. не ранее середины I в. нашей эры); однако, этот аргумент недостаточно убедителен. Можно вполне согласиться с исследователем А. де-Роша (*A. de Rochas*), что в эпоху Герона имя Ктезибия было у всех на устах, и слава учителя в течение еще двух-трех веков продолжала затмевать его ученика; лишь с течением времени работы первого забылись и совершенно затерялись, тогда как работы его ученика, более подробные и, быть может, более ясные, переписывались многократно и частично дошли до нас (см. стр. 64 указанной ниже книги А. де-Роша).

Для наших целей отсутствие точных хронологических данных, касающихся указанных древних авторов, не имеет существенного значения. Во всяком случае, все они жили после Архимеда, и, как бы ни был велик промежуток времени, отделяющий их друг от

друга, все же работы их объединены внутренним сродством, позволяющим рассматривать их одновременно.

Как уже было отмечено выше, труды Ктезибия до нас не дошли, и мы располагаем только указаниями на них со стороны других древних авторов; среди последних на первом месте стоит Витрувий, который неоднократно упоминает Ктезибия в своих «Десяти книгах архитектуры», написанных, как предполагают, в 16—13 гг. до начала нашей эры. Так, в главе 7 книги X он дает описание пожарного насоса, изобретенного Ктезибием, который он называет «Ctesibica machina», в главе 8 той же книги — описание гидравлического органа, в главе 8 книги IX — подробные данные об изобретении Ктезибием водяных часов. Описание пожарного насоса Витрувий заканчивает указанием, что Ктезибию приписывается также изобретение разнообразных приборов, в которых вода, приводимая в движение упругостью воздуха, воспроизводит естественные движения, а также много других вещей, увеселяющих зрение или улаждающих слух и тем нас очаровывающих (см. многочисленные издания — *Marcus Vitruvius Pollio*, «De Architectura libri decem», и книгу — *Auguste Choisy*, «Vitruve», t. I—IV, Paris 1909, содержащую латинский текст и параллельный французский перевод «Архитектуры», а также весьма обстоятельный вводный очерк). Из других источников мы знаем, что Ктезибий занимался вопросом

о машинах, применяемых в военном деле. Эти крайне отрывочные данные показывают все же, что Ктезибий был весьма разносторонним ученым.

Из работ Филона Византийского до нас дошли, к сожалению, только отдельные фрагменты. Известно, что им было написано большое сочинение, состоявшее из нескольких книг. Первая из них содержала некоторые геометрические данные, предпосылавшиеся обычно механике, вторая трактовала о принципе рычага и механизмах, основанных на этом принципе, третья содержала описание устройства портов; все эти три книги утеряны; четвертая книга, трактующая о метательных машинах, сохранилась и дошла до нас; от следующих трех книг, трактующих о фортификации и военном искусстве, сохранились лишь незначительные отрывки. В состав этого большого сочинения входила, кроме того «Пневматика», дошедшая до нас также в виде фрагментов; из указаний Герона мы знаем, наконец, что у Филона Византийского имелась работа об «автоматах».

Сведения наши о работах Герона Александрийского отличаются гораздо большей полнотой, так как значительная часть его трудов в том или ином виде до нас дошла. Мы располагаем не только фрагментами его «Метрики» и «Диоптрики», т. е. работ в области геометрии и землемерного искусства, но и более или менее полными текстами «Механики», «Пневматики», «Автоматов» (т. е. опи-

сания устройства театра марионеток и механических способов приведения последних в движение) равно как и описанием устройства подъемных и метательных механизмов. Некоторые работы Герона утеряны, и мы имеем только ссылки на них других древних авторов; таковы его сочинения о гидравлических часах, изыскании источников водоснабжения и т. д.

Из этого беглого обзора можно установить, что указанные нами знаменитые ученые Александрийской школы, оставившие после себя значительный след в области техники и инженерного искусства, занимались разнообразнейшими вопросами прикладной физики и прикладной механики, причем часть их работ непосредственно касалась вопросов гидромеханики. Так как трактат Герона о водяных часах утерян, то основным источником, позволяющим нам судить об уровне познаний александрийских ученых в этой области, является «Пневматика» Герона, дополняемая отрывками из одноименного сочинения Филона и трактующая, в основном, о действии газов и паров на равновесие жидкостей.

Обращаясь к указанным работам, мы сразу же обнаруживаем в них направление научной мысли, отличное от того, которым характеризуются работы Аристотеля. В то время как последний занимался, главным образом, теоретическими исследованиями и изучал принципы и систему природы как целого по частным ее проявлениям, указанные авторы инте-

решаются, по преимуществу, не теоретическими, а чисто практическими вопросами. Так, в самом начале своей «Пневматики», состоящей более чем из 70 глав, Герон пишет:

«Изучение свойств воздуха признавалось древними философами и механиками заслуживающим самого большого внимания. Первые выводили эти свойства при помощи рассуждения, вторые же — по их действию на наши чувства. Нам также показалось необходимым привести в систему то, что мы унаследовали от наших предшественников, и прибавить к этому наши собственные открытия; этим мы облегчим изучение предмета для тех, кто намеревается посвятить себя занятиям математикой. Сверх того, писать на эту тему нас побуждает еще и то обстоятельство, что эта работа будет служить естественным продолжением нашего трактата в четырех книгах о гидравлических часах. В самом деле, и здесь благодаря взаимодействию воздуха, огня, воды и земли, соединяемых в их взаимной противоположности по трое или все четыре вместе, получают различные комбинации, из которых одни удовлетворяют практическим потребностям человеческой жизни, в то время как другие вызывают изумление и страх».

В дальнейшем Герон высказывает некоторые соображения общего порядка о молекулярной структуре тел, их различных состояниях и упругости газов, а затем переходит к теории сифона и опи-

санию как различных форм его, так и целого ряда пневматических и гидравлических приборов, изобретенных частью «древними философами и механиками», частью им самим. Мы находим там описание простого, «двойного» и «плавающего» сифона, пожарного насоса, выбрасывающего периодически струю воды, шара, вращающегося при вытекании из него пара; далее следует описание устройства целого ряда более или менее сложных аппаратов, составленных из простых приборов и предназначенных, главным образом, для получения некоторых автоматических движений.

Тот же характер носит и «Пневматика» Филона, имеющая разительное сходство с одноименной работой Герона. В последней нет, однако, характерной для Филона главы о приборах, позволяющих достигнуть постоянства истечения жидкости; возможно, впрочем, что соответствующее описание входило в не дошедший до нас трактат Герона о водяных часах.

Заметим, что сочинения Герона издавались многократно на различных языках. Очень хорошая современная работа, содержащая перевод «Пневматик» Герона и Филона на французский язык и ценный исторический обзор, посвященный этим древним, написана упомянутым выше А. де-Роша («La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité» par *Albert de Rochas*, Paris 1912). Интересны также статьи, посвященные Герону, Витрувию, Фронтину и другим древним авторам и входящие

в состав сборника—*Th. Beck*, «Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues», Berlin 1900.

Изучение всех материалов, касающихся работ ученых Александрийской школы, показывает, что стремления указанных древних «механиков», обладавших огромной эрудицией и проявивших необычайный талант в области изобретательства и конструирования, были направлены, в основном, в сторону создания все новых и новых приборов и механизмов, могущих удовлетворить поставленным заданиям, а не отыскания каких-либо новых обобщающих принципов. Это не значит, конечно, что они не делали никаких попыток уяснить себе, почему данное явление протекает так, а не иначе. Описанию пневматических и гидравлических приборов Герон предпосылает, например, разбор вопроса о вакууме, присоединяясь к взгляду некоторых своих предшественников, что «в природе не существует больших пустых пространств, а только весьма малые, которые встречаются и в жидкостях, и в огне, и в других телах», исследует вопрос об огне как движущей силе, высказывает некоторые соображения относительно образования паров и т. д. Но все же центр тяжести его работы лежит не в этом, а в практическом применении его изобретений, действие которых почти или вовсе не зависит от того, какая гипотеза принята им для объяснения тех или иных явлений природы.

Таким образом найти в этих работах каких-либо

ясно осознанных принципов физики или механики мы не можем; не встречаем мы в них и попыток приблизиться к установлению таковых хотя бы путем логических «философских» рассуждений; соединение же воедино вопросов гидравлики и пневматики является чисто механическим и отнюдь не знаменует собою теоретического обобщения законов движения и равновесия жидкостей и газов. Однако все же эти работы имеют для нас громадный интерес, так как наглядно показывают, насколько давно уже началось накопление материала, который впоследствии лег в основание физики и механики и который в то время только еще ждал научной разработки. По справедливому же замечанию П. Л. Лаврова «...в иных случаях весьма трудно провести точно черту, отделяющую научные знания от ненаучных, и еще труднее доказать, что черта эта проведена именно там, где следует. Кроме того, существуют некоторые предварительные знания, сами по себе не научные, но составляющие столь необходимое условие для всякого научного развития, что совершенно неудобно исключать их вполне из истории науки» (П. Л. Лавров, «Очерк истории физико-математических наук», СПб 1866 г.).

Небесполезно отметить, что сочинения Герона и других сродных с ним древних авторов пользовались огромной популярностью в течение ряда веков и вызвали к жизни весьма большое число работ, посвященных описанию как уже известных «изуми-

тельных» приборов, так и вновь изобретаемых. В этом отношении небезынтересна небольшая университетская диссертация по гидравлике некоего Андрея Зейделя, изданная в Иене в гораздо более позднюю эпоху — в 1698 г. («*Hydraulicam, sub praesidio G. A. Hambergeri publicae disquisitioni subjecit Andreas Seidel*»). В этой бесхитростной рядовой университетской работе, чрезвычайно характерной для данной эпохи, автор обнаруживает знакомство с трудами Стэвина, Паскаля, Отто фон-Герике (которых, однако, он не называет) и даже Декарта, теория вихрей которого понадобилась ему для «объяснения» причины земного тяготения. При этом теоретическое обоснование основных положений гидростатики его вовсе не интересует. Он лишь приводит последние как данные, излагая их крайне элементарно и не всегда достаточно точно, а затем применяет их для объяснения устройства и принципов действия ряда физических приборов. Здесь фигурируют различные сифоны, водоподъемные устройства, работающие сжатым воздухом, египетские статуи богинь, источающие молоко при жертвоприношении благодаря нагреванию светильниками закрытого сосуда, наполненного воздухом («огненные частицы, для которых нет непроходимых путей, проникают туда и разрезают воздух»), а также такие игрушки, как кресло, в сидении которого устроены меха, наполненные водою, а в спинке — трубка, заканчивающаяся на уровне плеч, откуда льется

вода, когда «доверчивый друг» садится в кресло, или кубок, который брызжет водою в лицо тому, кто его слегка наклоняет, чтобы испить вина. Все это по самому характеру изложения возвращает нас к сочинениям Герона Александрийского и его средневековых продолжателей. Существенное различие заключается все же в том, что объяснения явлениям даются здесь не на основе противоположности свойств четырех элементов древних (огня, воздуха, воды и земли), а путем применения уже осознанных законов равновесия жидкостей и газов, правда, без какого-либо количественного их выражения.

Таким образом рассмотренные нами два основных направления работ древних греческих авторов в области гидромеханики (и физики), из которых одно можно было бы назвать «философским», а второе — «прикладным», не являются еще, строго говоря, научными: это только первоначальные попытки стать на истинный путь научного исследования.

III

Первую совершенно точную и ясную формулировку одного из основных законов гидростатики, с которой, в сущности, и начинается история ее развития как науки, мы находим лишь у Архимеда — величайшего представителя греческой школы геометров.

Заслуги греческих математиков настолько известны, что останавливаться на них здесь не приходит-

ся. Заметим только, что совсем еще недавно преподавание геометрии в школах некоторых западноевропейских стран велось не по особым учебникам геометрии, а непосредственно по прекрасным своей законченностью «Началам» Эвклида, написанным приблизительно за 300 лет до начала нашей эры и переведенным на соответствующие языки, и что только в XIX в. появились работы Лобачевского, Римана и других математиков, впервые отступивших от некоторых аксиом геометрии Эвклида и построивших новые системы геометрии.

Такую же изумительную строгость и логическую законченность геометрических построений мы находим и в работах ученика Эвклида — Архимеда, в частности, в его трактате о плавающих телах, перевод первой книги которого с необходимыми примечаниями помещен ниже.

Трактат начинается с постулата, гласящего: «Предполагается, что жидкость по природе своей такова, что при равномерном и непрерывном расположении ее частиц менее сжатая частица вытесняется более сжатой, и что отдельные частицы этой жидкости испытывают давление отвесно расположенной над ними жидкости...» Законы плавления тел выводятся затем из этого постулата путем одних лишь чисто геометрических соображений. Установив в предложении II, что «поверхность всякой жидкости, пребывающей в покое, имеет форму сферы, центр которой совпадает с центром земли»,

Архимед доказывает в предложении III, что «твердые тела, имеющие при равном объеме и равный с жидкостью вес, будучи опущены в жидкость, погружаются в нее настолько, что совершенно не выступают над ее поверхностью, но и не опускаются в ней сколько-нибудь глубже», в предложении V доказывается, что «твердое тело, которое легче жидкости, будучи опущено в жидкость, погружается настолько, что объем жидкости, равный объему погруженной части тела, имеет тот же вес, как и все тело»; наконец, предложение VII гласит, что «тела, которые тяжелее жидкости, будучи опущены в жидкость, погружаются все глубже, пока не достигают дна, и, пребывая в жидкости, теряют в своем весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объеме этих тел».

В основе постулата Архимеда лежит, как мы видим, представление о жидкости, совпадающее с современным и основанное на опыте, учащем, что частицы ее обязательно перемещаются под действием малейшей разницы усилий (давлений); поэтому указанный постулат может быть назван в высшей степени естественным; значение же его для последующих чисто геометрических рассуждений и выводов Архимеда аналогично значению аксиом в системе геометрии Эвклида. Жидкость предполагается при этом несжимаемой, как это делается и сейчас при всех практических расчетах; таковыми капельные жидкости считались до второй половины XVIII в.,

когда впервые опытным путем была доказана сжимаемость воды.

Ознакомившись с трактатом Архимеда о плавающих телах, читатель убедится, что он носит совершенно иной характер, чем труды других древних авторов, затрагивавших вопросы гидравлики. Этого можно было ожидать и наперед. В самом деле, та же известная легенда, которая связывала появление этого трактата с разрешением Архимедом задачи о возможной примеси лигатуры к золоту при изготовлении короны сиракузского тирана Гиерона (и которая обычно цитируется по предисловию к книге IX «Архитектуры» Витрувия), сохранила нам упоминание о том, что Архимед признавал достойными философа лишь теоретические исследования и умышленно не оставил описания ни одного из своих многочисленных изобретений в области механики — этого «рая математических наук», говоря словами Леонардо да-Винчи, — несмотря на то, что именно эти прикладные механические изобретения и создали ему широкую славу в древнем мире. Указанное обстоятельство резко отличает трактат Архимеда от работ Герона Александрийского и сродных с ним авторов. С другой стороны, Архимед не ставил себе таких широких философских задач, как Аристотель. Поэтому ни в одной из его работ мы не находим каких-либо отвлеченных философских построений и рассуждений. Во всех своих сочинениях (в том числе и работе «О равновесии плос-



АРХИМЕД

костей», в которой им дано обоснование закона рычага и которую сейчас мы отнесли бы к области механики) он оставался исключительно геометром; а «древние... устанавливали между механикой и геометрией то различие, что все точное относили к последней, все менее точное — к первой», говорит Ньютон в предисловии к первому изданию своих «*Philosophiae naturalis principia mathematica*», 1687. В сущности, и выведенные Архимедом общие положения гидростатики явились для него только средством к разрешению некоторых труднейших задач об устойчивости тел высшей геометрии, плавающих в жидкости (см. наше примечание 1 к трактату Архимеда). Но эта же особенность его гения позволила ему отыскать эти положения и выразить их в столь совершенной и законченной форме, что в течение ряда веков наука не решалась к ним что-либо прибавить. Действительно, попытка критического истолкования основного постулата Архимеда была сделана лишь в самое последнее время, изложение вопросов гидростатики на основе иных принципов, нежели принятые Архимедом, мы встречаем впервые лишь на рубеже XV и XVI вв. в работах Леонардо да-Винчи, а первое существенное дополнение к закону Архимеда, установленное тем же методом, каким пользовался последний, было сделано математиком Стэвином только в конце XVI в.

Гидростатика разделила в этом отношении судьбу ряда других отраслей точного знания, задержанных

в своем развитии последующим ходом исторических событий, разыгравшихся в странах Западной Европы и Ближнего Востока. Правда, практическая гидравлика сделала некоторые успехи и в течение указанного периода. Так, римляне достигли замечательных практических результатов в деле устройства гидротехнических сооружений и оставили нам интереснейшее описание их в сочинении Фронтинуса, жившего в конце первого столетия нашей эры, каковое многократно издавалось на различных языках. (См. *Sextus Julius Frontinus*, «De Aquis urbis romae»; параллельный латинский текст и английский перевод этого сочинения имеются в современном издании — *Frontinus*, «The Strategems and the Aqueducts of Rom», London 1925.) В этой работе Фронтинуса, являющегося предшественником многих позднейших исследователей, в том числе Торричелли, который занялся гидравликой также «в связи с промышленными гидротехническими сооружениями» (*Ф. Энгельс*, «Диалектика природы», изд. 1930 г., стр. 49), можно найти много интересных эмпирических данных, касающихся водоснабжения и устройства водопроводов, а также некоторые намеки на изучение истечения жидкости из конических насадков. Однако для выяснения основных принципов гидростатики эта работа не дает нам ничего. Минувя эпоху расцвета арабской науки, также ничего не внесшей в рассматриваемую нами отрасль знания, несмотря на внимание, уделявшееся арабами вопросам ирригации, в част-

ности, в Испании, отметим, что в средние века кое-что было сделано в направлении усовершенствования насосов, водоподъемных сооружений и водяных колес; однако, и эти работы не представляют собою чего-либо принципиально нового, ибо мысль этих техников-изобретателей шла, в сущности, по путям, проложенным еще древними греческими механиками. В указанный период гидравлика не могла еще выйти из стадии первичного накопления элементарных наблюдений, и причина этого лежала не в недостаточном развитии технических и строительных навыков, а исключительно в относительно низком уровне физико-математических познаний того времени, не позволившем еще перейти к установлению законов движения жидкостей.

Иную картину мы наблюдаем в Западной Европе с начала падения феодального строя и развития торгового капитала и производства. Оживление внешних торговых сношений повлекло за собою изменение в конструкции судов, увеличение их тоннажа и т. д.; одновременно с этим в некоторых странах усилились работы как по ирригации, так и по реконструкции и созданию новых внутренних водных путей сообщения, включая устройство каналов и шлюзов; развитие военной техники предъявило усиленный спрос на металл, добыча же угля, и особенно, железной руды, для получения его потребовала усиления водоотливных средств. Все это не замедлило сказаться на судьбах гидростатики, тем более,

что те же основные социально-экономические факторы обусловили проявление усиленного внимания к вопросам техники и механики и обеспечили в XVI и XVII столетиях блестящий успех физико-математическим наукам в целом. При этом в течение XV и XVI столетий по числу и значительности работ в области теоретической и прикладной механики, на некоторые из которых мы укажем в дальнейшем, на первом месте стояла Италия. (Весьма краткую, но содержательную характеристику указанной эпохи читатель может найти в брошюре проф. Б. М. Гессена «The social and economic roots of Newton's Principia», London 1931.)

История гидростатики за указанный период связана с именами Леонардо да-Винчи, Стэвина, Галилея и Паскаля, к изложению трудов которых мы сейчас и перейдем. Читателю нетрудно будет заметить ту связь, которая существовала между теоретическими работами этих великих ученых и практическими запросами, их вызвавшими. Поскольку работы Леонардо да-Винчи удобнее рассматривать в связи с трудами Галилея и Паскаля, так как все эти сочинения характеризуются стремлением связать законы гидростатики с общемеханическими принципами, на работы же Стэвина воззрения Леонардо да-Винчи никакого влияния не оказали, мы снова нарушим хронологическую последовательность изложения и обратимся к трудам указанного математика.

IV

Деятельность знаменитого фламандского ученого Симона Стэвина, родившегося в 1548 г. и умершего в 1620 г., относится к периоду борьбы Нидерландов за свою независимость, которая окончилась, как известно, свержением владычества Испании и провозглашением в 1581 г. их формальной государственной самостоятельности. Участия в этой борьбе Стэвин, однако, не принимал, так как после кратковременной работы в качестве финансового деятеля в своем родном городе Брюгге он на несколько лет покинул Голландию и предпринял длительное путешествие по ряду западноевропейских стран. На родину он возвратился только в 1581 г. и последовательно проживал в Лейдене, Дельфте и Гааге, занимая в последние годы жизни университетскую кафедру математики и должность генерал-квартирмейстера в армии принца Морица Нассауского, сына Вильгельма Оранского — известного борца за независимость Нидерландов. Помимо работ по механике которым он обязан своей славой, Стэвин успешно занимался баллистикой и фортификацией, а также вопросами десятичной системы счисления и мер (биографию и обзор работ Стэвина можно найти в специальной книге: «*Mémoire sur la vie et les travaux de Simon Stevin*» par *Steichen*, Bruxelles 1846).

Для наших целей особый интерес представляет «Статика» Стэвина, опубликованная им впервые в 1586 г. и содержащая в виде особой книги изложение

начал гидростатики. Небезынтересно отметить, что все свои работы Стэвин, так же как и его младший современник Галилей, писал на родном языке; лишь впоследствии они были переведены с фламандского на латинский и французский язык (см. библиографические указания в нашем примечании 1 к переводу работы Стэвина).

В своей «Статике» Стэвин применяет исключительно геометрический метод решения механических проблем и проявляет себя как последовательный и верный ученик Архимеда. Достаточно перелистать эту его работу, чтобы убедиться, что даже во внешнем расположении определений, постулатов (аксиом), теорем и задач он придерживается строгой геометрической системы; при этом положения его точны и определены, доказательства достаточно строги, изложение ясно и последовательно. «...В Стэвине чисто статический метод Архимеда празднует свой последний триумф, и древняя статика благодаря открытию им закона наклонной плоскости и его изысканиям над давлением жидкостей получает определенную законченность», — справедливо пишет Ф. Розенберг («Die Geschichte der Physik» von Dr. *Ferd. Rosenberg*, I Th., Braunschweig 1882, стр. 131).

Равновесие тел на наклонной плоскости Стэвин устанавливает следующим гениальным по своей простоте способом. Он рассматривает треугольник с горизонтальным основанием, у которого одна из бо-

ковых сторон вдвое длиннее другой; треугольник он мыслит себе расположенным в вертикальной плоскости и надевает на него цепь (или ожерелье) из 14 одинаковых шаров — грузов, связанных между собой нитью. Соответствующий рисунок, сопровождаемый надписью, которая означает в переводе: «чудо не есть чудо», читатель найдет воспроизведенным в помещаемой ниже работе Стэвина; он украшает собой титульную страницу как оригинального голландского издания «Статики», так и латинского издания математических сочинений Стэвина, в ознаменование того значения, которое придавалось установлению Стэвином закона наклонной плоскости. Из рисунка видно, что четыре этих шара располагаются на более длинной боковой стороне, два — на более короткой, и восемь свешиваются под основанием. Если бы вес четырех первых шаров не уравновешивался весом двух вторых и был, допустим, большим, то и совокупность восьми шаров (четырех на длинной стороне треугольника и четырех под основанием) не уравновешивалась бы совокупностью шести шаров (двух на короткой стороне треугольника и четырех под основанием); следовательно, более тяжелая часть цепи стала бы опускаться и поднимать более легкую (от трения и иных сопротивлений мы здесь, конечно, отвлекаемся). Допустим, что при этом движении груз, лежавший ранее на длинной стороне у вершины треугольника, скатился бы с наклонной плоскости и занял поло-

жение первого груза под основанием треугольника. Два груза, лежавшие ранее на короткой стороне треугольника, и следующие два груза, находившиеся ранее под основанием, расположатся при этом на длинной стороне треугольника, последние же два груза из шести займут место на короткой стороне треугольника. Но цепь (или ожерелье) из шаров будут находиться при этом в том же точно положении, как и вначале: восемь шаров снова не будут уравновешены шестью, восемь шаров снова опустятся и поднимут шесть. Таким образом шары приобретут сами по себе непрерывное и вечное движение, что является абсурдом. Для равновесия двух связанных между собою тел, лежащих на наклонных плоскостях равной высоты, необходимо, следовательно, чтобы их веса относились между собою, как длины наклонных плоскостей. Установив это правило, Стэвин легко вывел из него и все дальнейшие теоремы, касающиеся закона наклонной плоскости.

Наиболее характерной чертой этого доказательства является признание Стэвином невозможности вечного движения непосредственным и очевидным принципом. Ту же мысль Стэвин положил в основу своих гидростатических рассуждений.

Действительно, для доказательства того, что любой объем воды, погруженный в воду, пребывает в ней в равновесии, он прибегает к такому рассуждению: допустим, что указанный объем, будучи погружен-

ным в воду, не остался бы в ней в равновесии, а положим, опустился бы; тогда окружающая вода должна была бы занять его место; но при этом она оказалась бы в точно таком же положении, как и первоначально погруженный объем воды, т. е. должна была бы опуститься, и место ее занял бы новый объем воды; таким образом, вода пришла бы сама по себе в непрерывное движение, что является абсурдом.

Дальнейшее развитие гидростатических соображений Стэвина ясно из помещаемого перевода его «Начал гидростатики»; мы видим, что ему удалось в весьма ясной и доказательной форме установить законы давления жидкости на дно и боковые стенки сосуда и дать обоснование закону равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах; кроме того, он пополнил закон Архимеда о плавании тел общим предложением, что в случае равновесия центр тяжести плавающего тела должен лежать ниже воображаемого центра тяжести вытесненной массы воды, причем это равновесие тем устойчивее, чем ниже первая точка лежит по сравнению со второй; однако, доказательство этого предложения, данное Стэвином, нельзя считать вполне строгим.

Следующие основные положения являются наиболее характерными для гидростатики Стэвина:

«Всякое твердое тело весит в воде менее, чем в воздухе, на величину веса равного ему объема воды» (предложение VIII).

«Давление на дно, параллельное горизонту и покрытое водою, равно весу столба воды, основанием которого является указанное выше дно, а высотой — отрезок перпендикуляра к горизонту, заключенный между дном и поверхностью воды» (предложение X).

«Давление на правильную стенку, высшая точка которой лежит на поверхности воды, равно весу половины столба воды, имеющего своим основанием указанную стенку, а высотой — отрезок перпендикуляра, заключенный между уровнями, проходящими через наивысшую и наинизшую точки указанной стенки» (предложение XI).

«Если наивысшая часть правильной стенки находится ниже поверхности воды, то испытываемое ею давление равно весу столба воды, имеющего основанием указанную стенку, а высотой — отрезок перпендикуляра между поверхностью воды и наивысшей точкой основания, сложенный с половиной перпендикуляра, опущенного из наивысшей точки стенки на уровень, проходящий через наинизшую ее точку» (предложение XII).

«Дана стенка, имеющая форму плоского многоугольника; определить центр давления на нее воды» (задача VII, предложение XX).

«Тело, плавающее в воде, занимает такое положение, при котором центр тяжести его лежит на вертикальной линии, проходящей через центр тяжести занимаемого им объема воды» (теорема в особом приложении к «Статике»).

Игнорирование Стэвином всякого рода соображений, затрагивающих динамику, и исключительное пристрастие его к чисто геометрическим методам, на которых он и построил сполна свою «Статику», ярко сказалось в его оценке приведенных нами выше механических воззрений Аристотеля, которым он посвятил в своем «Приложении к статике» специальную главу под заглавием: «Причина равновесия рычага ни в какой мере не зависит от дуг круга, которые описывают концы его».

«То, что равные грузы, подвешенные к равным плечам рычага, пребывают в равновесии, достаточно подтверждается нашим непосредственным чувством. Но причина того, что два неравных груза, подвешенных к неравным плечам рычага, пребывают в равновесии, если отношение их весов обратно отношению тех плеч, к которым они прикреплены, отнюдь не столь очевидна. Древние полагали, что причина эта лежит в дугах круга, описываемых концами рычага; это положение можно видеть в «Механике» Аристотеля и сочинениях его приверженцев. Что это положение ложно, мы докажем следующим способом:

то, что неподвижно, не описывает круга; два груза, находящиеся в равновесии, неподвижны; следовательно, два груза, находящиеся в равновесии, не описывают никакого круга.

Итак, никакого круга здесь нет; если же круга

нет, то нет и причины, которую ему можно было бы приписать; причина равновесия рычага не лежит поэтому в дугах круга... Движение и описывание кругов — случайные явления, вызываемые ветром или каким-либо иным сторонним импульсом. Причина равновесия лежит поэтому не в дугах круга, а в том, что было доказано нами в предложении I книги I. И не приходится вовсе удивляться, что тот, кто принимает подобные ошибочные утверждения за истину, приходит к ряду ложных предложений, бессистемных и не основанных на каком-либо едином методе...»

Конечно, мы не можем сейчас согласиться с такой оценкой принципа возможных перемещений, примененного Аристотелем, хотя и в весьма еще несовершенной форме, в его «Проблемах механики». Об этом мы уже говорили выше; в дальнейшем же мы покажем, как этот принцип был плодотворно использован в гидростатике, а не только в общей механике. Взгляд Стэвина на этот вопрос мы привели здесь лишь для того, чтобы полнее обрисовать самый характер мышления знаменитого фламандского ученого.

В заключение необходимо отметить, что из теоретических работ Стэвина непосредственно видно, какие практические вопросы побудили его предпринять те или иные исследования. Так, свои «Начала гидростатики» он сопровождает «Началами практических применений гидростатики», в которых

указывает, между прочим, что законы давления жидкости на стенку сосуда непосредственно приложимы к стенкам и воротам шлюзов; теореме же о плавании тел, вершина которых нагружена, он предпосылает введение, в котором указывает, какую практическую задачу, связанную с устойчивостью корабля, он пытался разрешить при помощи этой теоремы.

V

Возвратимся теперь на столетие назад и познанимся с работами Леонардо да-Винчи, гениального художника и великого ученого, родившегося в 1452 г. и умершего в 1519 г.

Почти всю свою жизнь он провел в Италии, работая во Флоренции, Милане, Венеции, Риме как художник, скульптор, архитектор, строитель, механик и физик; лишь последний год жизни он провел во Франции, где и умер в городке Амбауз. Он отличался неистощимой интеллектуальной энергией и является едва ли не единственным в истории примером человека, одинаково одаренного как в искусстве, так и науке. Заслуги его в области живописи общеизвестны и доставили ему широкую славу еще при жизни. Что же касается его научных работ, то дать им должную оценку оказалось возможным лишь спустя весьма длительный промежуток времени.

Леонардо да-Винчи обладал весьма разносторонним образованием и не переставал работать над пополнением его в течение всей своей жизни,

изучая соответствующие сочинения и входя в общение с математиками, астрономами, философами.

При этом, к какому бы вопросу он ни подходил, он всегда стремился изучить разнообразные дисциплины, могущие оказать то или иное влияние на решение данной задачи, и, если современный ему уровень знаний в той или иной области его не удовлетворял, он настойчиво пытался сам продвинуть их вперед. Так, его работы в области живописи побудили его заняться теорией теней, законами перспективы, оптикой и строением глаза, анатомией человека и животных, структурой и законом роста растений и т. д., причем во многих из этих областей он достиг поразительных результатов. Неоднократно занимая официальные должности, связанные с устройством и эксплуатацией ирригационных и судоходных сооружений, имеющих для Италии весьма большое значение и сейчас, он проявил огромные способности в области механики и гидравлики, о чем свидетельствуют сохранившиеся его записки и рукописи. Не менее замечательна его работа о полете птиц, в которой он дал научное обоснование некоторым проблемам воздухоплавания. Наконец, ряд его заметок позволяет установить, что у него имелось вполне ясное представление об общих принципах, на которых должны быть построены экспериментальные науки.

Заметим, что довольно подробное сопоставление научных воззрений Леонардо да-Винчи с современ-

ными можно найти в книге *Gabriel Séailles*, «Léonard de-Vinci, l'artiste et le savant», Paris, 2-ième éd., 1906; прекрасный историко-критический очерк, посвященный разбору механических принципов, которыми руководствовался Леонардо да-Винчи, и влияние его работ на последующее развитие механики содержится в обстоятельном труде: «Études sur Léonard de-Vinci. Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lus» par *Pierre Duhem*. Sér. I—III, Paris. 1906—1913; описанию не только теоретических, но и прикладных достижений Леонардо да-Винчи в области механики посвящена работа: *Hart, Ivor B.*, «The Mechanical Investigations of Leonardo da-Vinci», London 1925; вопросы гидромеханики в этой последней книге, однако, не затрагиваются.

Труды Леонардо да-Винчи при жизни его не были изданы, и только одна из его работ, именно, трактат о живописи («Trattato della pittura») была опубликована приблизительно через 30 лет после его смерти; остальные работы его долгое время сохранялись в рукописном виде. Свои манускрипты, записные книжки и прочие материалы Леонардо да-Винчи завещал своему ученику Франческо Мельци, который бережно хранил их при жизни. После же его смерти (в 1570 г.) все эти богатейшие материалы рассеялись и оказались в хранилищах Рима, Милана, Парижа, Лондона, Виндзора. К настоящему времени большое количество этих материалов опубликовано; однако, нужна еще очень большая работа по изуче-

нию и систематизации как изданных, так и неопубликованных еще трудов Леонардо да-Винчи, чтобы мы могли отдать себе ясный отчет о всей совокупности проделанной им грандиозной творческой работы. (Историю рукописей Леонардо да-Винчи можно найти в специальной книге: *G. Calvi*, «I Manoscritti di Leonardo da Vinci del punto di vista cronologico, storico e biografico», Болонья 1925.)

В настоящее время установлено, что современники Леонардо да-Винчи имели некоторое представление об отдельных его научных работах и достижениях. Не приходится, однако, сомневаться, что сведения, которыми они в этом направлении располагали, были отрывочными, случайными и не свободными от ошибок; поэтому влияние Леонардо да-Винчи как на современных ему ученых, так и на последующие поколения оказалось гораздо меньшим, чем оно могло бы быть, если бы труды Леонардо да-Винчи были систематизированы и опубликованы в более близкую к нему эпоху.

Обращаясь к трудам Леонардо да-Винчи в области гидравлики, необходимо отметить прежде всего, что главным источником наших сведений о них является книга «О движении и измерении воды» (я пользовался изданием, выпущенным под заглавием «*Publicazioni dell' Istituto Vinciano in Roma*» *Leonardo da Vinci*, «*Del moto e misura dell'acqua*» a cura di *E. Carusi ed A. Favaro*, Bologna 1923); однако, большое количество заметок, набросков и

эскизов, касающихся той же области, разбросано и в других манускриптах Леонардо да-Винчи. В сущности, и указанная книга представляет собою только запись отдельных мыслей и положений, не приведенных в какую-либо систему, и «главы» ее содержат иногда всего по несколько строк.

В своих работах по гидравлике Леонардо да-Винчи касается как практических вопросов о движении жидкостей и устройстве различных гидравлических приборов, так и основных принципов гидростатики. На последних вопросах мы сейчас и остановимся.

В главе 17 книги VIII «*Del moto etc.*» мы встречаем изображение сосуда с жидкостью, в стенке которого сделан ряд отверстий на различной высоте; чем ниже расположено отверстие, тем дальше бьет вытекающая из него струя.

Далее, мы находим у него следующее положение: «Чем меньше количество воды по сравнению с давящим на нее грузом, тем выше последний ее гонит» (см. «*Les Manuscrits de Léonard de Vinci*» publiés par *Ravaisson-Molien*, ms A, fol. 45, recto).

Это положение Леонардо да-Винчи немедленно же иллюстрирует следующим примером. Представим себе сосуд, снабженный внизу загнутой кверху трубкой и наполненный водою. Если нагрузить на него сверху одиннадцать одинаковых камней, то вода будет бить кверху на некоторую высоту; если представить себе теперь другой сосуд, высота и ширина

которого равнялись бы соответствующим измерениям первого сосуда, длина же была в одиннадцать раз больше, и нагрузить указанный сосуд теми же одиннадцатью камнями, но расположенными в один ряд по длине, а не по высоте, как в первом случае, то вода будет бить из аналогичной трубки на высоту, в одиннадцать раз меньшую. В первом случае на данное количество воды давят одиннадцать камней, и вода подымается в одиннадцать раз выше, чем во втором случае, когда на то же количество воды давит всего один камень, ибо одиннадцать камней имеют под собою и в одиннадцать раз большее количество воды.

Из приведенных двух замечаний мы можем заключить, что Леонардо да-Винчи ясно сознавал наличие зависимости между давлением и скоростью истечения жидкости, хотя и допустил неясную формулировку своей мысли, сопоставив давление с количеством жидкости.

Законы гидравлики Леонардо да-Винчи совершенно правильно пытался поставить в связь с общемеханическими принципами. В этом отношении чрезвычайно характерно следующее сопоставление, содержащееся в главе 42 книги VIII «*Del moto etc.*». Леонардо да-Винчи отмечает, что при перемещении поршня простого водяного насоса на один дюйм первые частицы воды, выброшенные из насадка, могут быть уже в расстоянии двух локтей, и тут же добавляет, что аналогичное явление имеет место в зуб-

чатой передаче. Если предположить, что диаметр оси первого колеса равен диаметру второго колеса, то скорость каждой точки окружности того или другого колеса во столько раз больше скорости любой точки, лежащей на поверхности оси, во сколько раз окружность первого колеса больше окружности второго.

Рядом других ссылок можно было бы доказать, что Леонардо да-Винчи имел совершенно ясное представление о соотношении грузов и скоростей в машинах. Поэтому приведенное выше сопоставление не может быть истолковано иначе, как стремление подчинить явление истечения жидкости под давлением тому же закону равновесия, который наблюдается в машинах, т. е. закону равенства между затрачиваемой работой и работой сопротивления, и который был известен уже древним механикам.

В этом смысле особого внимания заслуживают дальнейшие соображения Леонардо да-Винчи, содержащиеся в главах 58, 59 и 83 книги VIII «*Del moto etc.*». Представив себе поршень насоса, который гонит воду вверх по трубке, Леонардо да-Винчи заменяет вес поршня эквивалентным весом воды Q , предполагая, что она опускается с высоты h , и утверждает, что количество воды q , которое может быть подано по трубке на высоту H , не может быть больше, чем $Qh:H$. В дальнейшем Леонардо да-Винчи указывает на соотношения, существующие в тех же условиях между весом воды, сечениями трубопровода и поршня и т. д.

Наконец, Леонардо да-Винчи совершенно правильно трактует равновесие жидкостей в сообщающихся сосудах. В главе 78 и 79 книги VIII «*Del moto etc.*» мы находим изображение трубки, изогнутой в форме римской цифры V, причем колена ее имеют различный диаметр; жидкость показана стоящей в обоих коленах на одинаковой высоте; далее изображен V-образный сосуд, заполненный водою и маслом, причем уровень последнего в одном из колен показан стоящим выше, чем уровень воды в другом, в тексте же указывается, что «если масло вдвое легче воды, то уровень воды будет стоять против центра тяжести объема масла...»

Все это показывает, насколько глубоко Леонардо да-Винчи сумел проникнуть в законы гидростатики. Хотя мысли его разрознены и далеко не всегда сформулированы достаточно отчетливо, устанавливаемые же им положения часто остаются недоказанными, мы не можем не признать, что в своих исканиях он руководствовался совершенно правильными основными идеями. В сущности, последующие работы в той же области Галилея и Паскаля, на которых мы впоследствии остановимся подробно (ибо в отличие от набросков Леонардо да-Винчи они являются вполне систематизированными и законченными), представляют собою развитие, оформление и закрепление основных принципов гидростатики, осознанных уже Леонардо да-Винчи. Существует вполне вероятное предположение, что мысли послед-

него были известны как Галилею, так и Паскалю, дойдя до них через посредство некоторых других ученых — Бенедетти, Мерсенна, Кастелли, как на это справедливо указывает в своем труде Р. Duhem («Études etc.», v. I, p. 207—220).

Некоторые авторы, желая увековечить имя Леонардо да-Винчи и в области гидравлики, переименовывают даже известный закон Паскаля в закон «Винчи-Паскаля» (см. начало II тома работы *Donato Spataro*, «Trattato completo di idraulica teorica e sperimentale», v. I—III, 1924). Это имеет под собою некоторую долю основания и только лишний раз показывает, насколько сильна в науке преэминентность идей и как трудно бывает иногда установить приоритет того или иного ученого без тщательнейшего изучения не только его работ, но и всей окружающей его научной обстановки. Часто нам нелегко понять, почему автор, точно установив те или иные положения, не сделал из них непосредственно сам всех выводов, кажущихся нам сейчас совершенно естественными, или почему этого не сделали его ближайшие современники. Казалось бы, образ замкнутого сосуда с двумя поршнями разной величины, которыми оперирует Паскаль, выводя закон распределения гидростатического давления, является простым и непосредственным следствием из положений, установленных Леонардо да-Винчи. Научной мысли понадобилось, однако, около полутора столетий, чтобы пройти этот незначительный на первый взгляд этап.

VI

Сочинение Галилея—одного из популярнейших ученых, трудам которого посвящено огромное количество разнообразных работ, — «Рассуждение о телах, пребывающих в воде, и о тех, которые в ней движутся», или, как его принято короче называть, «Трактат о плавающих телах», открывает перед нами следующую интереснейшую страницу истории гидромеханики.

Опубликование его (в 1612 г.) относится к периоду ожесточенной борьбы, центром которой являлась Италия, между учеными-схоластиками, для которых главным источником познания природы было штудирование философских творений Аристотеля и часто неудачных работ его комментаторов, и учеными-новаторами, поставившими во главу своих исследований наблюдение и опыт и пытавшимися этим путем исправлять воззрения своих предшественников на те или иные явления природы.

Авторитет Аристотеля в эту эпоху стоял еще весьма высоко. Действительно, вслед за периодом, когда в связи с упадком афинской школы работы его стали постепенно забываться и утрачиваться (за исключением сочинений по логике и практической философии, которые чрезвычайно ценились и в указанную эпоху), наступил период восторженного поклонения Аристотелю со стороны арабов, которые, ознакомившись с его трудами, стали считать его

непререкаемым авторитетом в вопросах философии, логики, физики, естествознания; он явился для них высшей истиной, почти нечеловеческим умом. Эта оценка Аристотеля постепенно передалась и западно-европейским народам, так что по удачному выражению Литтрова «... в X и XI вв. значение Аристотеля было уже так высоко, что он мог твердо выдержать множество булл и церковных проклятий» (см. прибавление Литтрова к «Истории индуктивных наук» Уэвелля; цитирую по русскому переводу, изданному в 1867 г.). В дальнейшем же отношение к нему высших духовных и светских властей так изменилось, что всякое преподавание, противное духу Аристотеля, было просто воспрещено, при этом основой преподавания являлась почти исключительно логика, жизненное же содержание было исключено и из сочинений Аристотеля.

Однако ко временам Галилея, родившегося в 1564 г., невозможность голого отрицания точного знания, наблюдения и опыта становилась все более очевидной. Правда, некоторые схоластики пытались еще удержаться на привычных позициях. Так, патер Каччини (Cassini), современник и враг Галилея, публично проповедывал, что геометрия есть дьявольское искусство, и что математиков следовало бы изгнать из всех государств как авторов различных ересей, и тем возвращался назад на тысячу с лишним лет ко временам Феодосия и Юстиниана с их знаменитым воспрещением занятий математикой

и уподоблением математиков злоумышленникам. («*Ars autem mathematica damnabilis interdicta est omnino*» и закон «*De maleficiis, mathematicis et caeteris similibus*»). Но все же большинство ученых того времени постепенно убедились в необходимости точного знания, так образно выраженной Галилеем в словах, взятых нами за эпиграф настоящей статьи математические рассуждения, наблюдение и опыт как средства доказательства тех или иных научных положений пробивали себе дорогу все шире и шире.

Успехи противников побудили и перипатетиков отказаться от защиты положений Аристотеля одними лишь логическими рассуждениями и ступить на путь экспериментирования. Но в этом для них как раз и заключалась наибольшая опасность, так как опыты, предпринимавшиеся или вызванные ими в защиту положений Аристотеля, в большинстве случаев обращались против них же самих. Ярким примером этого являются, в частности, опыты над плаванием тел, произведенные аристотелианцами в защиту положений своего учителя и описанные в помещаемом здесь трактате. Последний имеет для нас, между прочим, и тот интерес, что позволяет совершенно ясно представить себе научную атмосферу, в которой пришлось жить и работать Галилею, борясь с казуистикой и схоластикой многих современных ему ученых.

Если эти и некоторые другие работы Галилея создали ему большое количество врагов среди современных ему ученых и их высоких покровителей,



ГАЛИЛЕЙ.

то последней каплей, переполнившей чашу их терпения, были, как известно, его труды в области астрономии, направленные в защиту системы Коперника. Галилей, давший ряд непосредственных доказательств правильности этой системы своими открытиями фаз Венеры, спутников Юпитера и обращения Солнца вокруг своей оси (на которые он, между прочим, указывает в самом начале своего трактата о плавающих телах), опубликовавший в 1623 г. блестящую работу. «Il Saggiatore», в которой он снова выступил с критикой солнечной системы Птолемея-Аристотеля, опираясь на этот раз на наблюдения незадолго до того появившихся комет, а в 1632 г. — книгу, прошедшую в рукописи двойную цензуру и посвященную изложению в доступной форме учения Коперника («Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano etc.», Флоренция 1632), вынужден был подчиниться приговору суда инквизиции, вынесенному 20 июня 1633 г., коим он, несмотря на свои заслуги, преклонный возраст и болезненное состояние, присуждался к тюремному заключению; вместе с тем он должен был торжественно, на коленях, отречься от учения Коперника, как ложного, абсурдного, формально еретического и противоречащего писаниям. От тюремного заключения он был, правда, избавлен, но остаток жизни провел под бдительным наблюдением со стороны инквизиторов и вынужден был почти безвыездно пребывать в своей загородной вилле — Ар-

четыре, причем сношения с ним его друзей и учеников были небезопасными. Преследования инквизиции не прекратились и с его смертью, последовавшей в 1642 г.: церковь не допустила похоронить Галилея там, где он завещал; на могиле его долгое время нельзя было поставить памятник; наконец, сочинения его, касающиеся системы Коперника, сохранялись в индексе запрещенных книг до 1835 г.

Борьба схоластиков с Галилеем окончилась формально их победой. Но это обстоятельство не упрочило их положения. В течение немногих десятилетий на рубеже XVI и XVII вв. почти все отрасли точных наук получили чрезвычайно быстрое развитие и обогатились рядом открытий, ставших для них фундаментом. Если в предыдущий период истории точного знания мы встречаем лишь отдельные яркие проблески научной мысли, отделенные друг от друга многими десятилетиями, то в указанный период мы видим, как после долговременного затишья и подготовки последняя неудержимо принялась за перестройку всей системы научных знаний. Схоластическая философия утратила значение скорее, чем могли предполагать даже ее противники. Правда, она еще долгое время продолжала свое существование в тиши некоторых университетов, сохраняя в них за собою несколько надежных кафедр; но жизненного значения она уже не имела и задержать свободного развития научной мысли не могла.

Значение Галилея в деле развития точного зна-

ния огромно, и недаром Либри признает его «...кажущимся нам до сих пор одним из наиболее всеобъемлющих и величественных умов, которые когда-либо появлялись на земле» (*G. Libri*, «*Histoire des sciences mathématiques en Italie*», v. IV, éd. 1865, p. 291). Особенно велики заслуги его в области механики, в частности, — динамики, основы которой были заложены им, главным образом, в знаменитой его работе «*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attentati alla meccanica e ai movimenti locali*», Лейден 1638.

В той же работе Галилей положил начало и учению о сопротивлении материалов, без которого, так же как и без установления начал динамики, дальнейшего развитие техники, в частности, судостроения, машиностроения, артиллерийского дела, настоятельно требовавшееся всем ходом истории, было крайне затруднительным. Галилей прекрасно сознавал практическое значение всех своих теоретических работ и даже в своем «Трактате о плавающих телах» отмечает, что по его мнению «...правильное разрешение вопроса, зависит ли от формы предметов то, что одни из них погружаются в воду, а другие нет, было бы небесполезно и для постройки мостов или иных сооружений над водами».

Обратимся после этих предварительных замечаний к специально интересующему нас трактату. История его возникновения подробно описана самим Галилеем в начале его труда. Мы видим, что Галилей

задался целью путем опытов и рассуждений доказать справедливость закона Архимеда и ошибочность утверждения Аристотеля, будто погружение тел в воду и плавание их зависят от их формы.

Невольно возникает вопрос, почему суждения Аристотеля, высказанные им приблизительно за сто лет до открытия Архимедом закона плавания тел и потому явно требовавшие исправления на основе этого строго доказанного закона, нашли столь яростных защитников в лице схоластиков, современных Галилею. Может быть, причиной этому было незнание последних с работами Архимеда? Однако это предположение было бы неправильным. Правда, «невежественность некоторых перипатетиков может быть сравнена, — по словам Либри, — только с их фанатизмом», но большинство из них, безусловно, было знакомо с воззрениями великого геометра. Последний в эту эпоху являлся одним из наиболее известных древних авторов, трактат которого о плавающих телах был переиздан Тартальей в 1543 г. и Коммандином в 1565 г., т. е. совсем незадолго до рассматриваемого периода (см. наше примечание I к трактату Архимеда). Если даже предположить, что эти издания, как математические, ускользнули от внимания некоторых схоластиков, равно как и работы Стэвина, то все же придется указать, что у перипатетиков были и другие пути ознакомления с законом Архимеда, ибо и в гораздо более ранние периоды истории взгляды Архимеда имели весьма

широкое распространение среди философов, с работами которых и современные Галилею схоластики не могли не быть знакомыми.

Достаточно указать, что даже римский философ Сенека, живший со 2 по 66 год нашей эры и обнаруживающий, вообще, весьма мало склонности к математике, пишет в 25-м параграфе своей третьей книги «Naturalium quaestionum»: «...Взвесь все, что хочешь, и сравни с водой, взятой в равном объеме; если вода окажется тяжелее, то она будет носить это более легкое тело и поднимать его над собою настолько, насколько оно легче нее; более же тяжелое тело погружается в воду. Если же вес воды будет равен весу того, что ты взвешиваешь, то тело не будет ни погружаться на дно, ни выступать, но, будучи наравне с водою, станет плавать и притом почти совершенно погрузившись и нигде не выступая из воды. Этим объясняется, почему некоторые бревна плавают, почти совершенно выступая из воды, другие — погрузившись в нее до половины, а третьи — совершенно погрузившись в воду и пребывая в ней в равновесии. Действительно, если оба вещества имеют равный вес, то ни одно из них не перевешивает другого, при неравном же весе тяжелое вещество погружается, а легкое плавает. Тела являются при этом тяжелыми или легкими не по нашему непосредственному определению, а по сравнению с тем веществом, в которое они должны быть погружены...» (Цитирую по изданию: *L. Annaei Senecae*, «Natura-

lium Quaestionum libri septem.». *Recognovit etc. G. D. Koeler*, Gottingae 1819, p. 96. Имеется также очень хороший современный перевод указанного сочинения Сенеки под заглавием «Physical Science in the time of Nero» by *John Clarke*, London 1910).

Таким образом формальное знание закона Архимеда у схоластиков — современников Галилея; — несомненно, должно было иметься; более чем вероятно, однако, что большинство из них не могло усвоить основного постулата Архимеда о свойствах всякой жидкости, признать его «истинной причиной» плавания тел и разрешить кажущихся противоречий между выводами Архимеда и такими, например, явлениями, как плавание тяжелой, но тонкой пластинки, спокойно положенной на поверхность воды, или весьма замедленного поднятия кверху широкого и тонкого куска льда, искусственно погруженного в воду; примером тому являются суждения перипатетика Буономико, с которым Галилей polemизировал в своем трактате. Поэтому они предпочитали стоять на точке зрения Аристотеля и защищать свою позицию методами и рассуждениями, свойственными этому последнему.

Отсюда становится понятным, почему в борьбе со взглядами своих противников Галилей постарался подтвердить закон плавания тел не мало доказательными в их глазах суждениями Архимеда, а «...иным методом и иными средствами, приводя причины ука-

занных явлений к внутренним и непосредственным принципам...», заключающимся, как видно из дальнейшего, в методе «моментов». Для этой цели Галилей позаимствовал «...из науки механики два принципа: первый, — что два абсолютно равных груза, движущихся с равными скоростями, обладают одинаковой силой или одинаковым моментом при всех своих действиях», и второй, — «что момент и сила тяжести возрастают вместе со скоростью движения, так что грузы, абсолютно равные, но движимые с разной скоростью, обладают различными усилиями, моментами и силами; при этом более мощным оказывается тот груз, который движется с большей скоростью и именно в той мере, в какой скорость его больше скорости другого тела. Прекрасным примером этого служат весы с неравноплечим коромыслом; если на них положить абсолютно равные грузы, то последние будут давить неравно и развивать неравные усилия; груз, находящийся в большем расстоянии от центра, около которого вращается коромысло, опустится, подняв другой груз, причем движение поднимающегося груза будет медленным, а движение опускающегося — быстрым...» При этом Галилей поясняет, что «под именем момента в механике разумеется та сила, то усилие, то действие, с которым двигатель двигает, а движимое сопротивляется; эта сила зависит не только от простой тяжести, но и от скорости движения и от различного наклонения путей, по которым совершается движение, потому что тяжесть производит

большее действие при опускании по более наклонному пути, чем по менее наклонному».

Несомненно, что изложенные принципы признавались Галилеем «внутренними и непосредственными». Об этом свидетельствуют не только последующие его работы, в которых он широко пользуется принципом возможных перемещений, но и значительно более ранняя работа «*Della scienza messapica*», в которой он обосновал на том же принципе равновесие машин, и происхождение которой относят к 90-м годам XVI в., хотя в печати она появилась значительно позже (первое издание во французском переводе Мерсенна под заглавием *Galilée*, «*Les Mécaniques*», 1634, и второе на итальянском языке под указанным выше заглавием в Равенне, 1649 г.).

Пользовались ли, однако, те же принципы признанием и со стороны современников Галилея? — Если мы сравним данную формулировку их с приведенными выше выдержками из «Проблем механики» Аристотеля, то немедленно же установим весьма большую общность мыслей обоих авторов, что отмечено и самим Галилеем в его «Рассуждении». Этого, казалось бы, достаточно, чтобы сразу же ответить положительно на поставленный вопрос, имея в виду не раз уже отмеченную чрезвычайную популярность сочинений Аристотеля в данную эпоху. Однако необходимо считаться с тем, что механические идеи Аристотеля не привлекали, повидимому, большого вни-

мания перипатетиков, так как «Проблемы механики» не принадлежали к числу собственно философских сочинений Аристотеля, которые и составляли основу познаний его последователей. Да и вообще заслуги Аристотеля в области механики были признаны лишь относительно недавно.

В этом отношении весьма показательна точка зрения такого авторитетного и осторожного ученого, как Лагранж (живший с 1736 по 1813 г.): «Изучая условия рычага и других машин, легко подметить закон, что грузы и усилия всегда обратно пропорциональны пространствам, на которые те и другие могут переместиться в одно и то же время; между тем, древние, кажется, вовсе его не знали. Гвидо Убальди был едва ли не первым, обнаружившим его при изучении рычага и подвижных блоков и полиспастов». (Цитирую по изданию: *J. L. Lagrange*, «*Méchanique analytique*», Paris, 3-ième éd., 1853, p. 18.) Маркиз del Monte, известный более под именем Guido Ubaldi, родился в 1545 г. и умер в 1607 г., являясь старшим современником Галилея; ему-то и приписывает Лагранж, правда, в очень осторожной форме, первенство в установлении принципа возможных перемещений, совершенно игнорируя Аристотеля и других авторов, занимавшихся механикой в последующие периоды.

Позднейшие работы в области истории механики доказали, однако, ошибочность приведенного взгляда Лагранжа. Не вдаваясь в подробности, укажем, что

в работе Леонардо да-Винчи помимо приведенных уже выше замечаний имеются следующие совершенно ясные положения, касающиеся соотношения между грузами и проходимыми ими в машинах пространствами:

«Первое. Если сила перемещает тело на некоторое пространство в некоторое время, то та же сила переместит половину этого тела в то же время на удвоенное пространство.

Второе. Если сила перемещает некоторое движимое тело на некоторое пространство в данное время, то та же сила переместит половину этого движимого тела на то же пространство в половину данного времени.

Третье. Половина того же усилия переместит половину этого тела на то же пространство в то же время» и т. д.

В другом месте Леонардо да-Винчи пишет: «...Чем дальше сила передается от колеса к колесу, от рычага к рычагу или от винта к винту, тем более мощной и замедленной она становится». (Цитирую по работе *P. Duhem*, «*Les origines etc.*», v. II, p. 16—17 и 49, где соответствующий текст помещен со ссылкой на изданные в 1889 г. манускрипты Леонардо да-Винчи.)

Иероним Кардано (1501—1576 гг.), один из универсальных умов, которыми в рассматриваемый период была так богата Италия, касаясь, подобно своему великому предшественнику, действия бло-

ков и полиспастов, пишет: «...Если бы каждая часть полиспаста имела по три блока, то груз можно было бы поднять шестой частью силы, и таким образом, ребенок мог бы поднять на высоту большой вес, поскольку этому не препятствовала бы жесткость веревок и вес блоков и полиспастов. Но, так как отношение времени подъема таково же, как сил и усилий, то ребенок поднимал бы груз при двух блоках в четыре раза медленнее, а при трех блоках в шесть раз медленнее, чем если бы груз поднимался той же силой при помощи одной веревки...» (См. «*Les Livres de Hierome Cardanus intitulés de la Subtilité etc.*, Traduis de Latin en François par *Richard Le Blanc*», Paris, 1556 XVII, p. 333).

Приведенные цитаты, равно как и справедливое указание Лагранжа на работы Гвидо Убальди, показывают, что ко времени Галилея принцип возможных перемещений получил уже признание если не со стороны перипатетиков, то со стороны ученых, занимавшихся механикой, независимо от того, насколько широко были распространены среди них механические идеи Аристотеля; это и дало Галилею возможность использовать метод «моментов», как уже принятый в механике, для обоснования своих гидростатических суждений.

Приведенными замечаниями по поводу метода возможных перемещений или «моментов» мы и ограничимся, так как для нас важно было отметить здесь лишь явную преемственность идей древних и новых

авторов. Мы видим, что последняя, безусловно, имела место, так как хотя отдельные дошедшие до нас формулировки механических принципов и являются весьма несовершенными с современной точки зрения, все же основные механические идеи обнаруживают очевидную общность.

Что касается, далее, самого термина «момент», не имеющего, как мы видели, у Галилея того узкого значения, которое мы придаем ему сейчас, то из приведенной выше цитаты можно заключить, что он был в ходу у механиков того времени. Однако особенно широким распространением он едва ли пользовался, так как иначе Галилею не пришлось бы оправдывать его применение ссылкой на обыкновенный разговорный язык (см. текст трактата и 3-е к нему примечание).

Признание принципа моментов общим для всей механики, в котором Галилей имел своим предшественником Леонардо да-Винчи, позволило ему все же впервые в истории этой отрасли науки последовательно применить его для обоснования и доказательства гидростатических положений. Это придает работе Галилея о плавающих телах, не свободной от некоторых частичных недостатков, исключительно важное значение, признаваемое почти всеми авторитетными историками механики.

Так, Лагранж, изложив основные принципы статики и гидростатики, пишет: «Изложенные теории равновесия и давления жидкостей, как легко видеть, со-

вершенно независимы от общих принципов статики и базируются лишь на особых принципах исследования жидкостей; этот способ доказывать законы гидростатики, выводя из экспериментального знания некоторых из этих законов знание всех остальных, был принят большинством новых авторов, что сделало гидростатику наукой, совершенно отличной и независимой от статики. Между тем, было естественно стремиться связать вместе эти две науки и поставить их в зависимость от одного и того же принципа. Но среди различных принципов, которые могут служить основанием статики и которые мы вкратце изложим в отделе I, имеется, очевидно, лишь один принцип возможных перемещений, который естественно прилагается к равновесию жидкостей. Так, Галилей, автор этого принципа, воспользовался им одинаково для доказательства основных теорем как статики, так и гидростатики. В своем «Discorso etc.» он выводит непосредственно из этого принципа равновесие воды в сифоне... и доказывает подобным же образом равновесие жидкостей и погруженных тел...» (*J. L. Lagrange*, то же издание, стр. 168).

В своей истории механики Е. Дюринг подробно останавливается на трактате Галилея, причем отмечает следующее: «...Виртуальный принцип применяется в высшей степени изящным образом, а именно, — погружение призмы в жидкость, заключенную также в призматический сосуд, сравнивается с поднятием уровня жидкости, которое этим погружением

вызывается. А то, что здесь согласно с виртуальным началом ставится в соотношение с протяжением уровня и с основанием призмы, — это пути, проходимые основанием призмы и уровнем жидкости при ее перемещении в вертикальном направлении... В чисто механическом отношении галилеевский метод в высшей степени натурален... образ представления совершенно точен, и оба момента, о которых идет речь, равны между собой, ибо скорости обратно пропорциональны приводимым в действие массам... Решающее значение главного пункта... состоит в соединении гидростатики с общей механикой и, в частности, в сознании, что начало виртуальных скоростей есть наиболее пригодное средство для выяснения законов равновесия жидкостей». (Цитирую по русскому изданию: *Е. Дюринг*, «Критическая история общих принципов механики», перевод Н. Маракуева с 3-го немецкого издания, 1893 г., стр. 79—81.)

Отмеченное значение работы Галилея не умаляется и следующим справедливым замечанием Э. Маха. Объяснение равновесия жидкостей в двух сообщающихся сосудах Галилей ищет в том, «...что в случае нарушения равновесия перемещения столбов жидкости обратно пропорциональны поперечным сечениям и весам столбов; другими словами, условия равновесия здесь те же, как и в машинах. Но это не совсем правильно. Настоящий случай не соответствует вполне точно исследуемым Галилеем случаям равновесия в машинах с их безразличным равновесием.

В случае жидкости в двух сообщающихся сосудах каждое нарушение общего уровня жидкости вызывает возвышение центра тяжести». (Цитирую по русскому изданию: Э. Мах, «Механика, критический очерк ее развития», перевод с 6-го немецкого издания Г. А. Котляра, 1909 г., стр. 76.) В случае равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах центр тяжести должен действительно занимать наиболее низкое возможное положение; это обстоятельство не отмечено Галилеем и упоминается лишь в работе Паскаля, которая представляет собою дальнейший шаг в истории развития гидромеханики.

Заканчивая этим наши замечания по поводу работы Галилея о плавающих телах, отметим, что несмотря на всю убедительность и ясность доводов Галилея, противники его не признали себя побежденными, и вскоре после опубликования труда Галилея в печати появился ряд новых возражений, принадлежавших аристотелианцам Джиорджо Корезио, Лодовику делле Коломбе, Винченцию ди-Грациа и Артуру д'Эльчи, из которых последний выступил под именем «*accademico incognito*». Галилей уклонился от личного продолжения спора в печати на эту тему; однако, под непосредственным влиянием и с помощью Галилея ответ схоластике дал его ученик Бенедетто Кастелли. Участие Галилея в работе его ученика было определенно учтено его противниками, и новый ряд возражений и обвинений был направлен попрежнему против Галилея, а не Кас-

тели. Так как, однако, все эти материалы не дают ничего принципиально нового для истории гидростатики, то их можно оставить без детального рассмотрения (см. наше примечание I к «Рассуждению» Галилея).

VII

Дальнейшим значительным успехом в деле выяснения основных начал гидростатики мы обязаны Паскалю, именем которого до сих пор, обычно, именуется закон распределения давления в жидкостях. Не меньшей известностью пользуются также его работы над изучением барометрического давления. Помимо того, он был весьма способным математиком и блестящим писателем; он с успехом занимался теорией конических сечений, теорией вероятностей, задачей о циклоиде, изобрел арифмометр; литературно-публицистические сочинения его: «Lettres écrites par Louis de Montalte à un provincial de ses amis», 1656 г., выдержавшие 60 изданий, и «Pensées sur la religion», выпущенные в 1670 г., пользовались в течение ряда лет чрезвычайной известностью, что немало способствовало популяризации и его научных работ.

Эта многосторонность и значительность его трудов тем более удивительны, что Паскаль всегда отличался слабым здоровьем и умер сравнительно молодым (он родился в 1623 г. и умер в 1662 г.).

В своем «Трактате о равновесии жидкостей», отличающемся чрезвычайной ясностью и доступностью изложения, Паскаль подходит к установлению закона



ПАСКАЛЬ.

распределения давления в жидкостях следующим образом.

Прежде всего он указывает, что, если взять несколько сосудов какой угодно формы, сделать в дне этих сосудов одинаковые отверстия, вставить в последние поршни, герметически их закрывающие, но могущие в них свободно перемещаться, и налить в эти сосуды воды или какой-либо другой жидкости до одинаковой высоты, то давление последней на дно будет во всех сосудах совершенно одинаковым, несмотря на то, что вес жидкости в этих сосудах может быть весьма различным; это легко проверить на опыте, соединив поршень любого сосуда с одним плечом коромысла весов и удерживая другое плечо в равновесии соответствующим грузом. — Это мы уже знаем из работы Стэвина.

Далее, он отмечает, что давление жидкости будет одинаковым и в том случае, если отверстие, перекрываемое поршнем, будет расположено сбоку или в верхней части сосуда. Для этого он рекомендует взять закрытый сосуд, проделать в верхней стенке его два отверстия и вставить в одно из них поршень, а в другое — трубку. Если размер поршня будет тот же, как и в предыдущих опытах, а вода будет налита в трубку на ту же высоту, то и давление на поршень будет одинаковым с установленным в прежних опытах.

После этого Паскаль заменяет трубку с водой присоединенную к описанному закрытому сосуду

вторым поршнем и соответствующим усилием. При этом он указывает, что, если площадь одного поршня будет, например, во сто раз меньше площади другого, то усилие одного человека, приложенное к малому поршню, уравнивает усилия ста человек, приложенные к большому поршню, и что, вообще, если силы, приложенные к поршням, будут относиться между собою, как площади поршней (отверстий), то силы эти будут находиться в равновесии (от веса самых поршней мы отвлекаемся).

Это дает ему основание справедливо утверждать, что «сосуд, наполненный водою, является новым принципом механики и новой машиной для увеличения сил в желаемой степени, потому что при помощи этого средства человек может поднять любую предложенную ему тяжесть». Этот принцип позволил быстро сконструировать новый весьма совершенный механизм, а именно, гидравлический пресс, в котором очень нуждалось быстро развивающееся производство.

Принцип действия этой новой гидравлической машины Паскаль тотчас же связывает с принципом действия известных механизмов.

«Надо признать, — пишет он, — что в этой новой машине проявляется тот же постоянный закон, который наблюдается и во всех прежних, как то: рычаге, блоке, бесконечном винте и т. д., и который заключается в том, что путь увеличивается в той же пропорции, как и сила. Ибо очевидно, что, если

одно из этих отверстий во сто раз больше другого, то человек, который давит на малый поршень и опускает его на дюйм, вытолкнет другой поршень лишь на одну сотую часть дюйма. В самом деле, этот толчок происходит вследствие непрерывности воды, соединяющей один поршень с другим и обуславливающей то, что один поршень не может двигаться, не толкая другого; поэтому, когда малый поршень продвинется на один дюйм, то вода, которую он вытеснит, встретит, толкая другой поршень, отверстие, во сто раз большее, и займет по высоте лишь сотую часть дюйма. Таким образом путь относится к пути, как сила к силе. Это можно даже принять за истинную причину указанного явления, так как ясно, что совершенно безразлично — заставить ли сто фунтов воды пройти путь в один дюйм или один фунт воды путь в сто дюймов; и если фунт воды так связан со ста фунтами ее, что сто фунтов не могут сдвинуться на один дюйм без того, чтобы не передвинуть один фунт на сто дюймов, то они необходимо должны находиться в равновесии, ибо один фунт имеет столько же силы, чтобы заставить сто фунтов сделать путь в один дюйм, сколько сто фунтов для того, чтобы заставить один фунт сделать путь в сто дюймов».

Из этой цитаты видно, что Паскаль, так же как и Галилей, приложил к гидростатике общемеханический принцип возможных перемещений. Однако в отличие от Галилея Паскаль принимает во внимание

при изложении своего доказательства только поверхностное давление жидкости и отвлекается от ее веса, что представляет известные преимущества. Самый принцип возможных перемещений сформулирован Паскалем так, как это было принято в его время, и почти в тех же выражениях, как это было сделано Декартом приблизительно за 15 лет до составления Паскалем его трактата.

Не довольствуясь приведенным выше доказательством установленного им закона, Паскаль излагает и второе, которое по его словам «...будет понятно только геометрам и может быть опущено другими; — я принимаю за принцип, что никогда тело не движется под действием своего веса без того, чтобы центр тяжести его не понижался. Отсюда я вывожу, что два поршня, изображенные на фиг. VII, находятся в равновесии (см. таблицу рисунков, приложенную к тексту трактата). Действительно, их общий центр тяжести лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов; пусть теперь эти поршни, если только это возможно, сдвинутся; при этом их пути будут относиться между собою, как мы уже показали, обратно их весам. Но, если отыскать общий центр тяжести их для этого второго положения, то он окажется в том же точно месте, как и в первом случае, потому что он всегда лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов; таким об-

разом, вследствие параллельности направлений их путей он всегда будет находиться на пересечении двух линий, соединяющих центры тяжести их в двух положениях. Следовательно, общий центр тяжести будет в той же точке, как и прежде, и потому два этих поршня, рассматриваемые как одно тело, должны были бы сдвинуться без понижения их общего центра тяжести; это, однако, противоречит принципу и потому они сдвинуться не могут, а должны оставаться в покое, т. е. в равновесии, что и требовалось доказать.

Этим методом я доказал в небольшом трактате по механике причину всех увеличений сил, которые имеют место во всяких других механических приборах, изобретенных до сего времени. Ибо я нахожу повсюду, что неравные грузы, находящиеся в равновесии и обуславливающие выгодность применения машин, располагаются благодаря самому устройству этих последних таким образом, что общий центр тяжести грузов не может никогда понизиться, какое бы положение они ни занимали. Отсюда следует, что они должны оставаться в покое, т. е. в равновесии».

К сожалению, тот трактат по механике, на который указывает Паскаль, до нас не дошел. Поэтому мы лишены возможности установить, насколько строго удалось ему приложить указанный принцип к изучению работы обычных механизмов, и пошел ли он в этом направлении дальше, чем Торричелли, который

впервые декларировал этот принцип, но применил его не совсем удачно к случаям безразличного равновесия в машинах. Вместе с тем для нас остается неизвестным, как правильно указывает П. Дюгем («*Les origines etc.*», т. II, стр. 195), признавал ли Паскаль «...почему оба используемых им принципа совпадают во всех своих последствиях, и привлекали, вообще, этот вопрос его внимание».

Изложенные оригинальные положения и доказательства Паскаля занимают две первых маленьких главы рассматриваемого трактата. Остальные пять глав Паскаль посвящает объяснению, исходя из установленного им нового принципа, многих из известных уже гидростатических явлений, которые занимали и Стэвина в его «Началах практических применений гидростатики». В частности, две последних главы — о сжимаемых телах и животных, находящихся в воде, — мало что прибавляют к соображению фламандского математика.

В заключение следует отметить, что основные положения трактата о равновесии жидкостей используются Паскалем в другом его трактате — о весе массы воздуха, который был опубликован одновременно с первым (см. наше примечание к трактату Паскаля). Это видно из следующих начальных положений второго трактата:

«...2. Подобно тому как масса морской воды давит своим весом на часть земли, образующую основание моря, и давила бы своим весом на всю поверхность

земли, если бы она окружала всю землю, а не только часть ее, и масса воздуха, окружающая всю землю, давит своим весом на все ее части.

3. Подобно тому как дно сосуда, содержащего воду, испытывает большее давление со стороны веса воды, когда сосуд наполнен ею сполна, а не наполовину, и вообще, тем большее давление, чем выше уровень воды, и возвышенные места, например вершины гор, не испытывают такого давления веса воздуха, как места низменные, например долины...

4. Подобно тому как тела, находящиеся в воде, подвергаются со всех сторон давлению веса воды, находящейся над ними, что мы доказали в «Трактате о равновесии жидкостей», и тела, находящиеся в воздухе, подвергаются со всех сторон давлению массы воздуха, находящегося над ними.

5. Подобно тому как животные, находящиеся в воде, не ощущают ее веса, и мы не ощущаем веса воздуха и по той же причине; из того, что мы не ощущаем веса воды, когда мы в нее погружены, нельзя сделать вывода, что она не имеет веса; подобным же образом нельзя сделать вывода, что воздух не имеет веса из того, что мы его не ощущаем. Причину этого явления мы показали в «Трактате о равновесии жидкостей».

В приведенных положениях, как мы видим, Паскаль совершенно отчетливо устанавливает непосредственную связь, существующую между давлением жидкостей и газов; это обстоятельство представляет

известный интерес с точки зрения дальнейшего обобщения законов гидромеханики.

Работами Паскаля заканчивается первый период установления основных начал гидростатики путем элементарных геометрических и механических рассуждений, которому и посвящена наша работа. Мы видим, что к середине XVII в. они уже были сформулированы совершенно точно и доказаны с возможной для того времени строгостью; вместе с тем была установлена и общность основных принципов гидростатики с некоторыми принципами статики.

Дальнейшее развитие гидростатики было уже органически связано с успехами в области математического анализа и общей механики, особенно динамики, которые со временем и позволили включить гидростатику в состав механики капельных и газообразных жидкостей как особый отдел, рассматривающий случаи их равновесия.



А Р Х И М Е Д
О
ПЛАВАЮЩИХ
ТЕЛАХ



ARCHIMEDIS DE IIS
QVAE VEHVNTVR IN AQVA

LIBER PRIMVS.

CVM COMMENTARIIS FEDERICI
COMMANDINI VRBINATIS.

P O S I T I O.



ONATVR humidi eam
esse naturam, vt partibus ip-
sius aequaliter iacentibus, &
continuatis inter se se, minus
pressa à magis pressa expella-
tur. Vnaquæque autem pars
eius premitur humido supra
ipsam existente ad perpendicularum, si humidum
sit descendens in aliquo, aut ab alio aliquo pres-
sum.

P R O P O S I T I O I.

SI superficies aliqua plano secetur per idẽ sem-
per punctum; sitq; sectio circuli circunferen-
tia, centrum habens punctum illud, per quod pla-
no secatur: sphaera superficies erit.

A

*Факсимиле первой страницы трактата Архимеда
в издании Коммандина (Болонья, 1565 г.).*



КНИГА ПЕРВАЯ¹

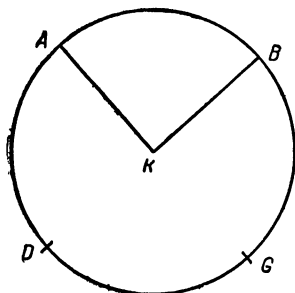
редполагается, что жидкость по природе своей такова, что при равномерном и непрерывном расположении ее частиц менее сдавленная частица вытесняется более сдавленной, и что отдельные частицы этой жидкости испытывают давление отвесно расположенной над ними жидкости, поскольку эта жидкость не заменута в чем-либо или не испытывает давления со стороны какого-либо другого предмета.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ I

Если некоторая поверхность такова, что линии сечения ее плоскостью, проходящей всегда через одну и ту же точку, представляют собою окружность, имеющую своим центром ту же точку, через которую проходит плоскость, то поверхность эта есть сфера.

Пусть данная поверхность рассекается плоскостью, проходящей через одну и ту же точку K , и линия

сечения всегда представляет собою окружность, центр которой лежит в точке K . Если бы эта поверхность не была сферической, то прямые, проведенные из центра к поверхности, не были бы все равны между собою. Пусть A, B, G, D суть точки на этой



Фиг. 1.

поверхности, и AK, KB — две неравные прямые. Проведем через эти прямые KA, KB плоскость; последняя пересечет данную поверхность по линии $DABG$, которая по предположению должна быть окружностью, имеющей своим центром точку K ; поэтому линии KA, KB не могут быть

неравными между собою; следовательно, данная поверхность необходимо должна быть сферической.

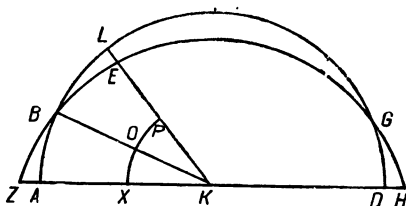
ПРЕДЛОЖЕНИЕ II

Поверхность всякой жидкости, пребывающей в покое, имеет форму сферы, центр которой совпадает с центром земли ².

Представим себе жидкость, пребывающую в покое, и рассечем поверхность ее плоскостью, проходящей через центр земли; пусть K есть центр земли и $ABGD$ — линия пересечения поверхности жидкости с указанной плоскостью. Утверждаю, что линия

$ABGD$ есть дуга круга, центр которого лежит в точке K . Если бы этого не было, то прямые, проведенные из K к линии $ABGD$, не были бы все равны между собою. Возьмем такую прямую, которая была бы больше некоторых из прямых, проведенных из точки K к линии $ABGD$, но меньше других из них, и опишем из центра K дугу радиусом³, равным длине взятой прямой. Указанная дуга круга пройдет частью вне линии $ABGD$.

частью внутри нее, так как радиус этой дуги больше некоторых из прямых, проведенных из точки K к линии $ABGD$, и меньше других из



Фиг. 2.

них. Пусть этой дугой будет линия ZBH . Соединив точки B и K прямой, проведем прямые ZK и KEL так, чтобы они образовали с первой прямой равные углы, а затем опишем из центра K на плоскости и в жидкости дугу XOP ; части жидкости, находящиеся на дуге XOP , будут при этом расположены одинаково и непрерывно. Но части, расположенные на дуге XO , испытывают давление жидкости, простирающейся до AB , тогда как части, расположенные на дуге OP , испытывают давление жидкости, простирающейся до BL . Таким образом части жидкости, которые находятся на дугах XO и OP , испытывают неравные давления. Но части,

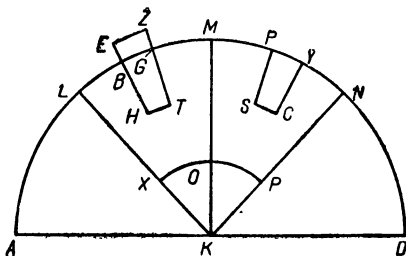
менее сдавливаемые, вытесняются по допущению частями, более сдавливаемыми; поэтому жидкость не останется в покое. Мы предположили, однако, что она покоится; поэтому необходимо, чтобы линия *ABLG* была дугою круга, центр которого лежит в точке *K*. Подобным же образом можно доказать, что линия сечения поверхности жидкости любой плоскостью, проходящей через центр земли, будет окружностью, центр которой совпадает с центром земли. Отсюда ясно, что поверхность покоящейся жидкости имеет форму сферы, центр которой совпадает с центром земли; в самом деле, эта поверхность такова, что линия сечения ее с плоскостью, проходящей всегда через одну и ту же точку, есть окружность, имеющая своим центром ту же точку, через которую проходит секущая плоскость.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ III

Твердые тела, имеющие при равном объеме и равный с жидкостью вес, будучи опущены в жидкость, погружаются в нее настолько, что совершенно не выступают над ее поверхностью, но и не опускаются в ней сколько-нибудь глубже.

Пусть тело произвольной величины, имеющее тот же вес, что и жидкость, опущено в эту жидкость; предположим, если это возможно, что часть тела выступает над поверхностью жидкости, и что последняя покоится. Представим себе плоскость, про-

ходящую через центр земли и пересекающую жидкость и тело таким образом, что дуга круга $ABGD$ представляет собою линию сечения поверхности жидкости, а фигура $EZHT$ —линию сечения тела; центр земли пусть лежит при этом в точке K . Пусть, далее, $BGHT$ есть часть тела, погруженная в жидкость, а $BEZG$ — часть тела, выступающая из нее. Представим себе теперь тело в форме пирамиды, которая имела бы своим основанием параллелограмм⁴, лежащий на поверхности жидкости, а вершиной — центр земли, и пусть линии пересечения граней пирамиды с плоскостью, в которой ле-



Фиг. 3.

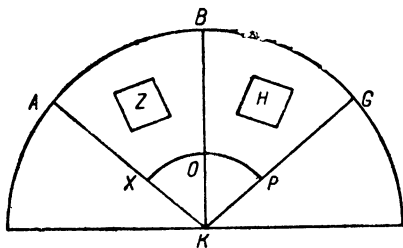
жит дуга $ABGD$, суть прямые KL , KM . Опишем теперь в жидкости другую сферическую поверхность, имеющую своим центром точку K , проходящую ниже тела $EZHT$ и также пересекаемую плоскостью⁵. Возьмем другую пирамиду, равную и подобную первой, содержащей твердое тело, расположенную одинаково с ней и пересекаемую плоскостью по линиям KM , KN . Представим себе теперь в жидкости другое тело $RSCY$, состоящее из самой жидкости, которое равно и подобно $BHTG$, т. е. части первого тела, погруженной в жидкость. Частицы жидкости,

содержащиеся в первой пирамиде и лежащие внутри поверхности, которой принадлежит дуга XO , так же как частицы жидкости, содержащиеся во второй пирамиде и лежащие внутри поверхности, которой принадлежит дуга PO , расположены одинаково и непрерывно, но испытывают различное давление. В самом деле, частицы жидкости, расположенные на XO , сдавливаются телом $THEZ$ и жидкостью, помещающейся между поверхностями XO , LM и гранями пирамиды, в то время как частицы жидкости, расположенные на PO , сдавливаются жидкостью, помещающейся между поверхностями PO , MN и гранями пирамиды. Но вес жидкости, помещающейся между MN , OP , будет меньше ⁶. В самом деле, жидкость, заполняющая $RSCY$, меньше по объему, чем тело EZH , так как объем ее равен лишь $HBTG$, т. е. только части тела, и по предположению данное тело, опущенное в жидкость, равно по весу самой жидкости, остальные же части жидкости, уравниваются. Отсюда ясно, что части жидкости, лежащие на дуге OP , будут вытесняться частицами жидкости лежащими на дуге OX , так что жидкость не останется в покое. Мы предполагали, однако, что она покоится. Поэтому тело погрузится в жидкость настолько, что никакая часть его не будет выступать над ее поверхностью. Вместе с тем, тело не опустится и ниже, так как одинаково расположенные частицы жидкости будут оказывать на тело, имеющее тот же вес, как и сама жидкость, одинаковое давление.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IV

Твердое тело, которое легче жидкости, будучи опущено в жидкость, не погружается сполна, и некоторая часть его выступает над поверхностью жидкости..

Пусть твердое тело, которое легче жидкости, опущено в эту жидкость. Предположим, если это возможно, что тело совершенно погрузилось при этом в жидкость, так что никакая часть его не выступает над ее поверхностью, и допустим, что жидкость при этом по-



Фиг. 4.

коится. Представим себе плоскость, проходящую через центр земли и пересекающую жидкость и тело таким образом, что дуга круга ABG является линией сечения поверхности жидкости, а фигура, отмеченная буквою Z , — сечением тела; центр земли пусть лежит при этом в точке K . Представим себе теперь, как раньше, пирамиду, которая заключала бы в себе тело Z и имела бы своей вершиной точку K , и пусть плоскость ABG пересекает грани пирамиды по линиям AK , KB . Возьмем другую пирамиду, равную и

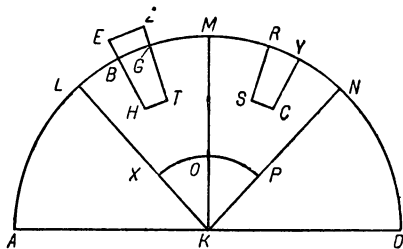
подобную первой, грани которой пересекаются тою же плоскостью по линиям KB , KG . Опишем теперь в жидкости ниже твердого тела другую сферическую поверхность, имеющую своим центром точку K и пересекаемую тою же плоскостью по дуге XOP . Наконец, представим себе тело, отмеченное буквою H , которое заключается во второй пирамиде, состоит из самой жидкости и равно телу, отмеченному буквою Z . Частицы жидкости, заключающиеся в первой пирамиде и лежащие внутри поверхности, которой принадлежит дуга XO , так же как частицы жидкости, заключающиеся во второй пирамиде и лежащие внутри поверхности, которой принадлежит дуга OP , расположены одинаково и непрерывно, но испытывают различное давление. В самом деле, частицы, заключающиеся в первой пирамиде, сдавливаются телом Z и жидкостью, заполняющей пирамиду между A , B , O , X , тогда как частицы, заключающиеся во второй пирамиде, сдавливаются жидкостью, заполняющей пирамиду между P , O , B , G . Но вес тела Z меньше веса тела H , равного ему по объему, так как, по предположению, тело легче жидкости; в то же время вес жидкости, содержащей тело Z , равен весу жидкости, содержащей тело H , ибо пирамиды равны между собою. Поэтому частицы жидкости, лежащие внутри поверхности, которой принадлежит дуга OP , будут испытывать большее давление и станут вытеснять частицы, испытывающие меньшее давление. Жидкость, таким образом, не останется в

покое. Мы предположили, однако, что она покоится. Поэтому тело не погрузится сполна в жидкость, и некоторая часть его будет выступать над ее поверхностью.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ V

Твердое тело, которое легче жидкости, будучи опущено в жидкость, погружается настолько, что объем жидкости, равный объему погруженной части тела, имеет тот же вес, как и все тело.

Прделаем то же построение, как раньше. Предположим, что жидкость покоится, и что тело $EZH\Gamma$ легче этой жидкости. Если жидкость покоится, то части ее, расположенные одинаково, испытывают одинаковое давление; следовательно, жидкость, заключенная внутри поверхности, которой принадлежат дуги XO , PO , испытывает одинаковое давление, иначе говоря, сдавливается одинаковыми грузами. Но вес жидкости, заключающейся в первой пирамиде, за выче-



Фиг. 5.

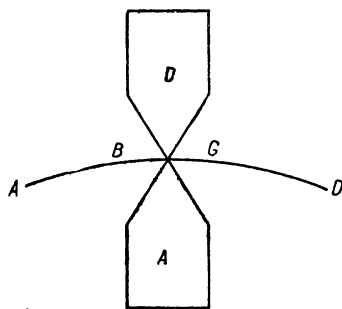
том объема твердого тела $BHT\Gamma$, равен весу жидкости, заключающейся во второй пирамиде, за вычетом объема жидкости $RSCY$. Отсюда совершенно ясно, что вес тела $EZH\Gamma$ должен быть равен весу жидкости

RSCY. Следовательно, объем жидкости, равный объему погруженной части тела, имеет тот же вес, как и все тело.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VI

Твердые тела, которые легче жидкости, будучи погружены в жидкость, стремятся кверху с силой, равной превышению веса жидкости, взятой в объеме этих тел, над весом самих тел.

Пусть некое тело A легче жидкости. Допустим, что B есть вес тела A , а BG ⁷ есть вес жидкости,



Фиг. 6.

взятой в объеме этого тела A . Докажем, что тело A , будучи погружено в жидкость, стремится вверх с силой, равной весу G .



Возьмем некоторое тело D , вес которого равен весу G . Совокупность тел A , D будет при этом

легче жидкости ⁸. В самом деле, вес их выражается через BG ; что же касается веса жидкости, взятой в объеме тел A , D , то он будет больше BG , так как BG есть вес жидкости, взятой в объеме одного только тела A . Если поэтому опустить сово-

купность тел A , D в жидкость, то она погрузится в нее настолько, что объем жидкости, равный объему погруженной части, будет иметь тот же вес, как и вся совокупность тел, как это было доказано выше. Пусть дуга $ABGD$ представляет собою часть поверхности жидкости. Так как вес жидкости, взятой в объеме тела A , равен весу тел A и D , то погруженной частью их совокупности является, очевидно, все тело A , тело же D будет сполна выступать над поверхностью жидкости; иное погружение тела противоречило бы ранее доказанному. Отсюда ясно, что тело A стремится подняться с той же силой, с какой тело D давит его вниз, ибо ни одна из этих сил не преодолевает другую. Но направленное вниз давление тела D равно весу G , так как по предположению вес тела D равен G . Следовательно, предложение доказано.

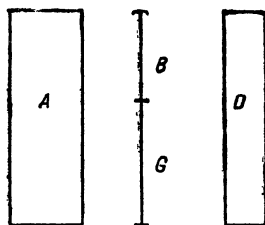
ПРЕДЛОЖЕНИЕ VII

Тела, которые тяжелее жидкости, будучи опущены в жидкость, погружаются все глубже, пока не достигают дна, и, пребывая в жидкости, теряют в своем весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объеме этих тел.

Очевидно, что если тело тяжелее той жидкости, в которую оно погружено, то оно опускается в ней все глубже, пока не достигает дна. В самом деле,

частицы жидкости, находящиеся снизу от тела, испытывают при этом большее давление, чем другие, расположенные подобно первым, так как по предположению тело тяжелее жидкости; указанное же уменьшение веса тела доказывается следующим образом.

Пусть тело A тяжелее жидкости. Допустим, что BG есть вес тела A , и B есть вес жидкости, взя-



Фиг. 7.

той в объеме тела A . Требуется доказать, что тело A , будучи погружено в жидкость, имеет вес, равный величине G .

Возьмем другое тело, отмеченное буквою D , которое легче жидкости, взятой в том же объеме,

и пусть вес этого тела D равен B ; пусть при этом вес жидкости, взятой в объеме этого тела D , выражается величиной BG . Если соединить теперь оба тела A и D , то совокупность их будет иметь тот же вес, как и жидкость. В самом деле, вес совокупности этих тел равен сумме весов BG и B ; что же касается веса жидкости, взятой в объеме указанной совокупности тел, то он также равен приведенной сумме весов. Поэтому тела эти, будучи погружены совместно в жидкость, будут иметь тот же вес, как и самая жидкость, и потому не будут ни подниматься, ни опускаться. При этом тело A ; которое тяжелее жидкости, будет стремиться вниз,

а тело D , которое легче жидкости, будет стремиться с той же силой вверх. Но тело D , которое легче жидкости, будет стремиться вверх с силой, равной весу G , так как мы уже доказали, что если тело легче той жидкости, в которую оно погружено, то оно стремится кверху с силой, равной превышению веса жидкости, взятой в объеме тела, над весом самого тела. А так как вес жидкости, взятой в объеме тела D , превышает вес самого тела на величину G , то очевидно, что тело A будет стремиться вниз с силой, также равной весу G .

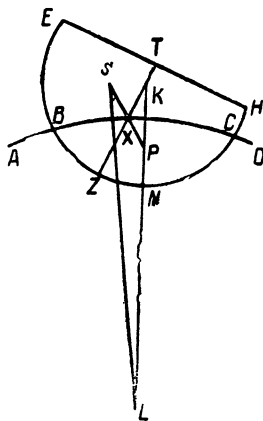
Предполагается, что тела, которые вытесняются жидкостью, поднимаются по вертикали, проходящей через центр тяжести их ⁹.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VIII

Если какое-либо твердое тело, которое легче жидкости и имеет форму шарового сегмента, опущено в эту жидкость таким образом, что основание сегмента не соприкасается с жидкостью, то оно располагается прямо, и ось его принимает вертикальное направление; если же какая-либо причина выводит его из этого положения, так что основание сегмента приходит в соприкосновение с жидкостью, то с устранением этой причины тело не остается наклонным, но снова располагается прямо.

Представим себе, действительно, тело указанной формы, которое опущено в жидкость, и плоскость,

проходящую через ось сегмента и центр земли. Пусть $ABCD$ будет линией сечения поверхности жидкости, дуга $EZHNT$ — линией сечения тела, опущенного в жидкость, и TZ — осью сегмента. Центр сферы лежит, очевидно, на линии TZ . Пусть этим



Фиг. 8.

центром будет точка K , если предположить сперва, что сегмент больше половины шара. Пусть, далее, тело заняло наклонное положение в силу какой-либо причины или само по себе, если последнее возможно. Требуется доказать, что оно не останется в указанном положении, но расположится прямо, так что точки Z и T будут лежать на одной вертикали.

Так как мы предположили, что тело наклонено, то точки Z и T не лежат сейчас на одной вертикали. Проведем прямую KL через точки K и L , из которых L является предполагаемым центром земли. Ось части тела, лежащей ниже поверхности жидкости, в которую оно опущено, будет направлена по KL . В самом деле, если две сферических поверхности пересекаются, то линия сечения их есть круг, перпендикулярный к прямой, соединяющей центры

этих сфер. Отсюда следует, что центр тяжести части тела, погруженной в жидкость и ограниченной дугой BNC , лежит на прямой KL . Пусть P будет этим центром тяжести. Далее, центр тяжести всего сегмента $THZE$ лежит на прямой TZ ; пусть им будет точка X . Отсюда следует, что центр тяжести части тела, выступающей над поверхностью жидкости, лежит на прямой PX , продолженной на отрезок SX , отношение которого к отрезку XP равно отношению веса погруженного в жидкость сегмента BNC к весу части тела, выступающей над поверхностью жидкости, как это уже было доказано¹⁰. Пусть S будет центром тяжести этой последней части тела. Так как вес части тела, выступающей над поверхностью жидкости, увлекает его вниз по направлению LS , тогда как часть тела, погруженная в жидкость, стремится кверху по направлению PK ¹¹, то очевидно, что тело не останется неподвижным, и части его, лежащие со стороны E , будут перемещаться вниз, в то время как части, лежащие со стороны H , будут перемещаться вверх; и так они будут постепенно перемещаться до тех пор, пока прямая ZT не станет вертикальной. Когда же прямая ZT займет вертикальное положение, то центры тяжести как части тела, погруженной в жидкость, так и части тела, выступающей над ее поверхностью, будут расположены на одной вертикали, ибо оба они будут лежать на прямой ZT . В этом случае противоположные усилия — одно, направленное вверх,

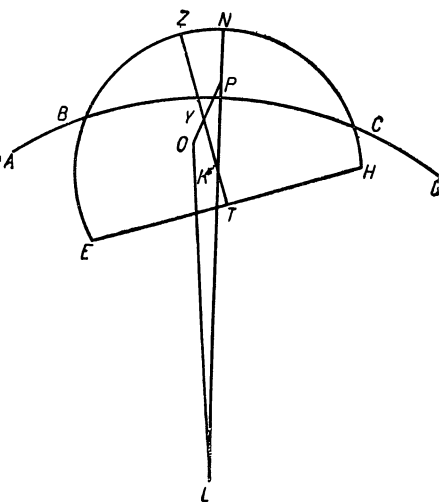
и другое, направленное вниз, — будут действовать по одной вертикали, и тело останется неподвижным, так как ни одно из этих усилий не преодолеет другого. То же имеет место, если тело представляет собою половину шара, или если оно меньше половины шара.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IX

Если, наконец, то же тело, которое легче жидкости, опущено в эту жидкость таким образом, что основание его находится сполна в жидкости, то тело это располагается прямо, и ось его принимает вертикальное направление.

Представим себе, в самом деле, тело, о котором мы говорили, погруженным в жидкость. Представим себе также плоскость, проходящую через ось сегмента и центр земли. Пусть дуга $ABCD$ будет линией сечения поверхности жидкости, дуга EZH и прямая EH — линиями сечения тела и прямая ZT — осью сегмента. Пусть, далее, прямая ZT не является вертикалью, если только это возможно. Требуется доказать, что тело не останется в покое, но расположится прямо. Центр сферы лежит, очевидно, на прямой ZT . Пусть данное тело будет сперва больше половины шара, и K будет его центром. Проведем прямую KL через точку K и центр земли L . Ось части тела, лежащей выше поверхности жидкости, в которую оно опущено, будет направлена вдоль прямой, проведенной через K , и

центр тяжести этой части по изложенным выше причинам будет расположен на прямой NK . Пусть этим центром будет P . Далее, центр тяжести всего сегмента лежит на прямой ZT между точками K и Z . Пусть этим центром будет Y . Отсюда следует, что центр тяжести остающейся части, погруженной в жидкость, будет лежать на прямой YP , продолженной на отрезок, отношение длины которого к длине прямой YP равно отношению веса части сегмента, выступающей над поверхностью жидкости, к весу части сегмента,



Фиг. 9.

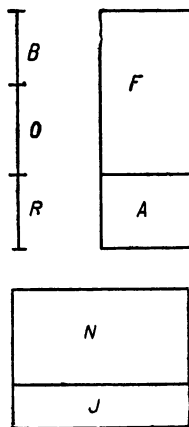
погруженной в жидкость. Пусть O будет центром тяжести этой последней части тела и OL — вертикалью, которая проходит через точку O . Тогда вес части сегмента, выступающей над поверхностью жидкости, будет увлекать его вниз по направлению PL , в то время как часть сегмента,

погруженная в жидкость, будет стремиться кверху по направлению OL . Следовательно, тело не останется в покое, и части его, лежащие со стороны H , будут перемещаться вниз, в то время как части, лежащие со стороны E , будут перемещаться вверх; и это будет продолжаться до тех пор, пока прямая ZT не станет вертикальной.

КНИГА ВТОРАЯ

ПРЕДЛОЖЕНИЕ I

Если какое-либо тело, которое легче жидкости, опущено в эту жидкость, то вес этого тела так относится к весу равного объема жидкости, как погруженная часть тела ко всему телу¹².



Фиг. 10.

Пусть какое-либо тело FA , которое легче жидкости, опущено в эту последнюю; пусть A — погруженная часть тела и F — часть тела, выступающая из жидкости. Требуется доказать, что вес тела FA так относится к весу равного ему объема жидкости, как A к FA .

Представим себе объем жидкости NJ , равный по величине телу FA , и пусть N равно F и J равно A .

Пусть, далее, вес FA равен B , вес NJ равен OR и вес J равен R . Вес FA будет при

этом относиться к весу NJ , как B к OR . Но, так как тело FA легче той жидкости, в которую оно опущено, то вес жидкости, взятой в объеме погруженной части тела, будет, очевидно, равен весу всего тела FA , как это уже было доказано выше. Поэтому вес B будет равен R . Но B есть вес всего тела FA , а R — вес жидкости, объем которой был принят равным объему погруженной части тела A . Таким образом вес FA будет относиться к весу NJ так, как R к OR . Но отношение R к OR равно отношению весов J и NJ , или их объемов; а это последнее отношение равно отношению объема A к объему FA ; предложение, следовательно, доказано.



ПРИМЕЧАНИЯ К ТРАКТАТУ АРХИМЕДА О ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛАХ

1. Настоящий перевод сделан с текста трактата, помещенного в томе II полного собрания сочинений Архимеда, повторно изданного проф. Гейбергом на греческом и латинском языках («*Archimedis opera omnia cum commentariis Eutocii iterum edidit J. L. Heiberg*», Leipzig 1910—1915).

В нем впервые опубликован почти полный греческий текст и исправленный латинский перевод сочинения Архимеда «О плавающих телах». Указанный греческий текст, который до последнего времени считался окончательно потерянным для нас, был найден совершенно случайно. Изучая древние рукописи некоторых иерусалимских монастырей, исследователь П. Керамевс обратил внимание на то, что одна из них содержит под текстом, относящимся к XIII в., другой текст, который был только смыт, а не стерт с пергамента, и который поэтому можно было разобрать. Он опубликовал выдержку из этого нижнего текста, по которой известный знаток Архимеда—проф. Гейберг—тотчас же определил, что этот греческий текст принадлежит Архимеду и написан

приблизительно в X в. Внимательно исследовав рукопись, проф. Гейберг нашел в ней значительные части различных сочинений Архимеда, в том числе большой отрывок из так называемого «Эфодика», который до того времени был известен только по ссылкам на него древних авторов, и почти полный текст трактата о плавающих телах, пользуясь которым проф. Гейберг смог дополнить и исправить прежний, неоднократно издававшийся, латинский текст этого трактата.

В настоящее время можно считать окончательно установленным, что последний вел свое начало с перевода, выполненного в 1269 г. с греческого на латинский Вильгельмом фон-Мёрбеком — известным переводчиком сочинений Аристотеля. Тот же текст был в значительной мере использован в последующих старинных изданиях работ Архимеда, например, Тарталли, 1543 г., Коммандина, 1565 г., и др.

Сочинения Архимеда многократно издавались на различных языках. Из более современных изданий необходимо отметить помимо уже указанной исключительно ценной работы проф. Гейберга и прекрасную книгу: «*Les oeuvres complètes d'Archimède traduites du grec en français par Paul Ver Eecke*», Paris—Bruxelles 1921. Далее, следует упомянуть более ранние издания: «*The Works of Archimedes by Sir T. L. Heath*», 1912 и «*Archimedes Werke übersetzt und erklärt von E. Nizze*», 1824, равно

как и отдельную работу: «Über schwimmende Körper und die Sandzahl von Archimedes. Übersetzt von Dr. A. Czwalina, 1925 (из серии «Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften», Leipzig, № 213). На русском языке имеются лишь некоторые сочинения Архимеда, изданные Петрушевским в 1823 г.

В указанном выше издании Гейберга, которым мы пользовались для перевода, греческий и латинский текст трактата Архимеда о плавающих телах занимают вместе около 100 страниц in 8°; трактат разделен на две книги, из которых первая содержит 9 а вторая 10 предложений. Из них 7 первых предложений первой книги и начальное предложение второй излагают некоторые общие теоремы гидростатики. Остальные предложения, имеющие преимущественно математический интерес, трактуют о равновесии в жидкости шаровых сегментов (VIII и IX предложения книги I) и сегментов параболоида вращения (II—X предложения книги II). Так, предложение III книги II гласит:

«Если длина оси прямого сегмента параболического коноида превышает длину полупараметра не более, чем в три раза, и сегмент этот, имеющий какой угодно вес по отношению к жидкости, опущен в нее так, что основание его, находящееся сплона в жидкости, занимает наклонное положение, то, будучи предоставлен самому себе, сегмент этот не остается наклонным, а принимает такое положение, при котором ось его вертикальна».

Поскольку мы поставили себе задачей дать читателю ясное представление о работах Архимеда лишь в области гидростатики, мы сочли себя вынужденными ограничиться помещением здесь перевода лишь книги I и начального предложения книги II трактата Архимеда тем более, что изучение теорем о равновесии в жидкости сегментов параболоида вращения требует от читателя гораздо более серьезной математической подготовки, чем всех других предложений, содержащихся в нашей работе.

Перевод выполнен с возможной близостью к подлинному тексту, причем в нем принята та же система замены греческих обозначений на чертежах латинскими, какой пользуется проф. Гейберг; те же обозначения, которые имеются на чертежах, введены нами в текст взамен греческих букв, которыми пользуется проф. Гейберг и которые значительно затрудняют чтение текста.

Заслуживает быть отмеченным, что какого-либо вступления, столь обычного в сочинениях Архимеда, в этом трактате не содержится, и книга I начинается непосредственно с постулата.

2. Это краткое предложение, логически вытекающее из начального постулата относительно основных свойств жидкости, косвенно доказывает и то, что земля имеет форму шара. Последняя мысль, воспринятая на Западе только через 16—17 столетий, была весьма распространена среди греков и в более раннюю эпоху. Об этом учил Аристотель, приводя

в качестве доказательства шарообразности земли понижение и повышение звезд над горизонтом при передвижении с севера на юг или наоборот, а также выпуклость тени земли, падающей на луну при ее затмениях. Аристотель утверждал, что иначе и быть не может, так как все тела равномерно стремятся к земле—общей неподвижной точке, или центру мира. Современник же и друг Архимеда—Эратосфен—пытался даже определить размеры земного шара и сделал это с ошибкой, не превышающей 14—15%.

3. Здесь, как и в дальнейшем, мы будем применять современный термин «радиус», заменяя им выражение Архимеда—«линия, которая исходит из центра»; определенного термина, аналогичного слову «радиус», древние греческие геометры не имели.

4. Под словом «параллелограм» Архимед разумеет обычно квадрат; в данном же случае он обозначает им, очевидно, часть сферической поверхности, ограниченную дугами больших кругов.

5. То-есть ту сферическую поверхность, которой принадлежит дуга XOP .

6. Вес тел $EZH\Gamma$ и $RSCY$ предполагается включенным в вес жидкости, заполняющей ту и другую пирамиды.

7. Буквами BG здесь обозначается сумма $B + G$; то же самое обозначение встречается и в предложении VII.

8. Подразумевается «взятой в объеме обоих тел».

9. Рекомендую читателю сопоставить этот постулат и следующие два предложения Архимеда с теоремой о плавающих телах, вершина коих нагружена, составляющей приложение к «Началам гидростатики» Стэвина.

10. Это положение доказано Архимедом в предложении VIII книги I его трактата «О равновесии плоскостей», гласящем:

«Если от какой-либо величины отнять некоторую часть, центр тяжести которой не совпадает с центром тяжести целого, то центр тяжести остающейся части будет расположен на продолжении прямой, соединяющей центр тяжести отнятой части с центром тяжести целого, за последним и на таком от него расстоянии, при котором отношение указанного расстояния к расстоянию между данными центрами равно отношению веса отнятой части к весу остающейся части».

11. В соответствии с постулатом, предпосланным Архимедом рассматриваемому VIII предложению.

Два последних примечания относятся и к последующему IX предложению.

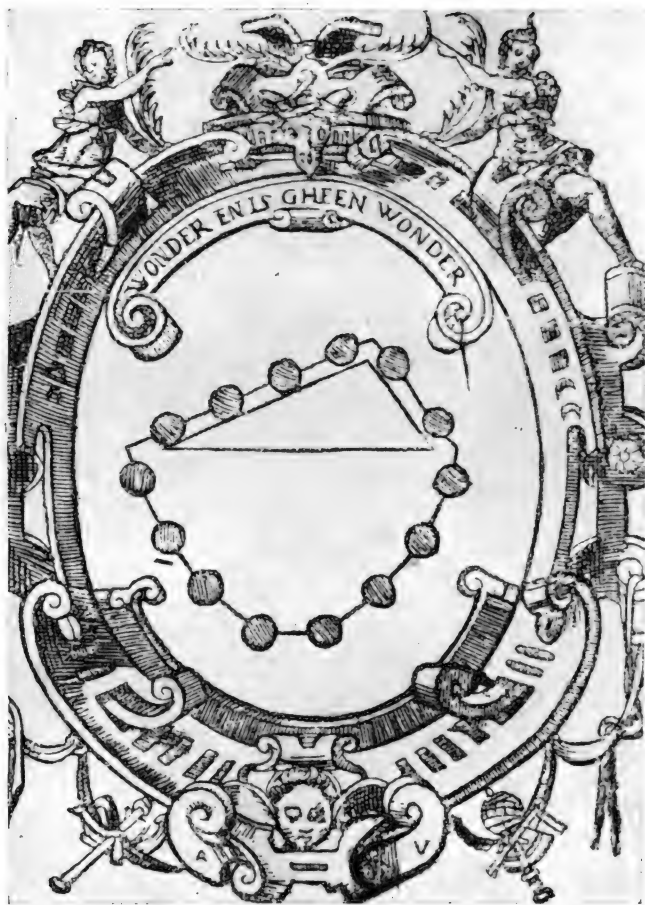
12. Подразумевается: «как объем погруженной части тела к объему всего тела».



СИМОН СТЭВИН

НАЧАЛА
ГИДРОСТАТИКИ





*Факсимиле рисунка титульной страницы трактата Стэвина
в лейденском издании 1586 г.*



ВВЕДЕНИЕ ¹

Нрежде всего мы изложим определения встречающихся здесь основных понятий, а затем постулаты. После этого мы приведем положения, из которых первые 9 относятся к свойствам тел, пребывающих в воде, а следующие 6 (с X по XV)—к силе давления воды на дно или стенку; XVI и XVII предложения будут трактовать о длине сторон, необходимой для получения заданного давления воды на стенку; XVIII, XIX и XX предложения будут касаться центров давления воды на стенку; предложение XXI будет трактовать об определении количества воды по ее весу; наконец, XXII и последнее предложение будет касаться соотношения между объемом, относительным весом материи и тяжестью различных тел. В конце будет дано приложение, трактующее о началах практических применений гидростатики.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ²

Определение I. Известная тяжесть есть та, известная величина которой выражается известным весом.

Определение II. Вещества равновесомые суть те, которые при равной величине имеют в воздухе и равный вес.

Определение III. Вещество более весомое есть то, которое при равной с другими величине имеет больший вес.

Определение IV. Вещество менее весомое есть то, которое при равной с другими величине имеет меньший вес.

Определение V. Одно вещество во столько раз более весомо, чем другое, во сколько раз оно весит больше последнего при равной с ним величине.

Определение VI. Твердое тело есть такое, которое не является ни жидким, ни текучим, не растворяется в воде и не испаряется в воздухе.

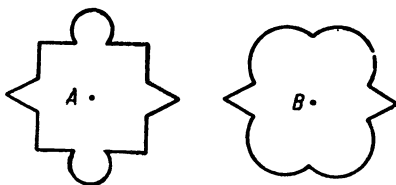
Определение VII. Форма есть внешняя поверхность тела, от которого она может быть мысленно отделена.

Определение VIII. Основание есть любая поверхность, на которой покоится вода.

Определение IX. Правильное основание есть такая плоская фигура, у которой каждый диаметр делится центром на две равные части.

ПОЯСНЕНИЕ

Круги, эллипсы, параллелограммы, правильные многоугольники с четным числом сторон и всякие другие фигуры, ограниченные хотя бы различными линиями, как *A* и *B*, которые делятся прямой линией, проходящей через центр, на две равные части, мы называем правильными основаниями в отличие от других, которые не делятся любой прямой, проходящей через центр, на две равные части, а потому будут называться в отличие от первых, о которых говорится в определении, неправильными основаниями; таковы, например треугольники, а также многоугольники с нечетным числом сторон.



Фиг. 1 и 2.

Значение этого разделения определяется (как будет видно из дальнейшего) тем, что призмы, имеющие правильные основания, рассекаются на две равные части диагональной плоскостью, проходящей через две соответственно расположенных точки как верхнего так и нижнего основания.

Определение X. Пустота есть пространство, в котором не содержится никаких тел.

Определение XI. Пустой сосуд есть тот, в котором не содержится ничего кроме воздуха.

НАЧАЛА ГИДРОСТАТИКИ

ПОСТУЛАТЫ ³

Постулат I. Собственным весом тела является вес его в воздухе; в воде вес тела является иным.

Постулат II. Все части данного количества воды имеют одинаковый вес.

Постулат III. Груз, который погружается менее, является более легким; чем более он погружается, тем он тяжелее; при одинаковом погружении грузы равны по весу.

Постулат IV. Форма может быть наполнена водою или каким-либо другим веществом без какого-либо повреждения или изменения ее.

Постулат V. Форма, содержавшая воду, становится пустой, когда вода из нее вылита.

ПОЯСНЕНИЕ

«Оставаться пустой» следует понимать в соответствии с определением XI, а не X, которое трактует о пустоте и подразумевает отсутствие воздуха.

Постулат VI. Верхняя поверхность воды есть плоскость, параллельная горизонту.

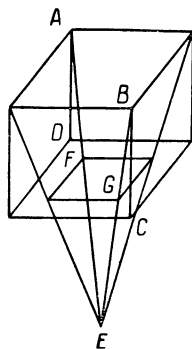
ПОЯСНЕНИЕ

Известно, что поверхность воды имеет форму сферы, соответствующей земной поверхности или ей concentрической, а также, что капли воды имеют особую форму поверхности. Наш постулат не распространяется на последние ничтожные количества воды; однако, это не имеет практического значения. Что же касается сферической формы поверхности воды, соответствующей земной поверхности, то принятие соответствующего положения чрезвычайно затруднило бы доказательство последующих предложений, не дав никаких практических выгод для гидростатики. В целях упрощения рассуждений мы принимаем поэтому, что поверхность воды является плоской и параллельной горизонту.

Постулат VII. Если столб воды имеет основания, параллельные горизонту, то можно допустить, что прямые, соединяющие соответственно расположенные точки верхнего и нижнего оснований и к ним перпендикулярные, сходятся при продолжении в центре земли, основания же являются частями земной поверхности.

ПОЯСНЕНИЕ

Пусть $ABCD$ — столб воды, AB и CD — плоскости, параллельные горизонту, и AD , BC и т. д. — линии, к ним перпендикулярные; пусть E — центр земли, из которого проведены линии AE , BE и т. д., пересекающие DC в точках F , G и т. д. и отсекающие фигуру FG , подобную DC . Линии AD , BC не направлены при этом к центру E . Мы допускаем, однако, что это имеет место, так как разница



Фиг. 3.

здесь практически ничтожна, вследствие малых размеров длин, поверхностей и тел по сравнению с землей; равным образом мы допускаем, что AB , CD суть части земной поверхности столь же удаленные от центра земли, как AB и, соответственно, DC .

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

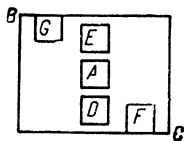
ТЕОРЕМА I. ПРЕДЛОЖЕНИЕ I

Вода удерживает в воде любое положение.

Дана форма A , содержащая воду и помещенная в воду BC . Требуется доказать, что вода A не будет перемещаться.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Если бы было иначе, и вода A не осталась бы на месте, а опустилась в D , то вода, которая заняла бы ее место, также опустилась бы по той же причине; таким образом вследствие перемещения A вода пришла бы в вечное движение, что является абсурдом. Подобным же образом доказывается, что A не поднимется и не переместится в какую-либо сторону; поэтому она будет пребывать там, где она помещена, — в D , E , F , G или любом другом месте в воде BC .



Фиг. 4.

Заключение. Вода удерживает в воде любое положение, что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА II. ПРЕДЛОЖЕНИЕ II

Твердое тело, которое легче воды, не погружается в нее сполна, и некоторая часть его остается снаружи.

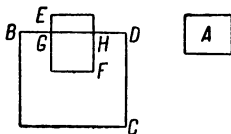
Дано твердое тело A , которое легче воды BC , имеющей верхнюю поверхность BD .

Требуется доказать, что A , будучи помещено в воду BC , не погрузится в нее сполна, и некоторая часть его останется снаружи.

Пусть EF —невесомая форма, часть которой, погруженная в воду и наполненная водой, есть GF , равная и подобная A , и пусть поверхность GH приходится на уровне BD .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Так как A по предположению легче воды GF , и GF по объему равно A , то GF будет тяжелее A . Если поэтому опорожнить GF и поместить туда тело A , имеющее тот же объем, то это тело A , будучи легче воды, которая занимала ранее его место, побудит форму опуститься в воду менее, чем раньше, согласно постулату III, так что часть тела A останется над водою.



Фиг. 5.

Заключение. Твердое тело, которое легче воды, не погружается в нее сполна, и некоторая часть его выступает над ее поверхностью, что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА III. ПРЕДЛОЖЕНИЕ III

Твердое тело, более весомое, чем вода, погружается в ней на дно.

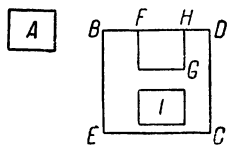
Дано твердое тело A , которое тяжелее воды; BD есть поверхность воды и EC — дно.

Требуется доказать, что тело A , будучи помещено в воду BC , погрузится на дно EC .

Пусть FG — форма, наполненная водою, равная и подобная A , и пусть FH приходится на уровне BD .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Так как тело A по сравнению с водою FG является более весомым; и FG по объему равно A , то A будет весить больше, чем FG . Опорожним форму FG и поместим в нее тело A , которое по предположению в точности равно ей.



Фиг. 6.

Так как тело A весит больше, чем вода, которую мы удалили, то форма, содержа A , погрузится более, чем содержа воду FG , согласно постулату III.

Таким образом мы доказали, что A погрузится сполна; погружение же его на дно следует из ранее изложенного, ибо легко видеть, что оно не сможет остаться, например, в I , но будет погружаться глубже, чем вода, занимающая соответствующее место, пока не достигнет дна.

Заключение. Твердое тело, более весомое, чем вода, погружается на дно, что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА IV. ПРЕДЛОЖЕНИЕ IV

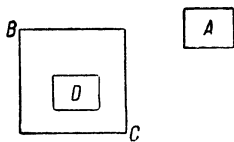
Твердое тело, равновесное с водой, занимает в ней любое положение и место.

Дано твердое тело A , равновесное с водою BC . Требуется доказать, что A будет пребывать в воде BC в любом месте.

Пусть D — форма, наполненная водою и равная A .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Так как A равновесно воде, и D равно по объему A , то D и A будут иметь одинаковый вес. Выльем воду из формы D и поместим в нее тело A , что может быть сделано, так как они по предположению равны. Форма D не погрузится при этом более, чем когда она



Фиг. 7.

была заполнена водою, согласно постулату III. Но вода D удерживает в воде любое положение, согласно предложению I. Поэтому и тело будет пребывать в воде BC там, где мы пожелаем.

Заключение. Твердое тело, равновесное с водою, занимает в ней любое положение и место, что и требовалось доказать.

ТЕОРЕМА V. ПРЕДЛОЖЕНИЕ V

Твердое тело, менее весомое, чем вода, в которую оно помещено, весит столько же, сколько вода, место которой оно заняло.

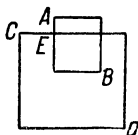
Дано твердое тело AB , менее весомое, чем вода CD , в которой оно плавает, форма его AB и часть его EB , погруженная в воду.

Требуется доказать, что твердое тело AB весит столько же, сколько вода в объеме части его EB , погруженной в воду CD .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Удалим твердое тело AB из формы AB и наполним последнюю водою настолько, чтобы форма была погружена в воду совершенно так же, как когда она содержала твердое тело. Вода внутри формы обязательно расположится при этом на том же уровне, как и вне формы, ибо последняя не имеет веса; поэтому, согласно постулату III, вода, заключающаяся в форме, будет весить ровно столько же, сколько твердое тело AB .

Заключение. Итак, твердое тело, менее весомое, чем вода, и т. д.



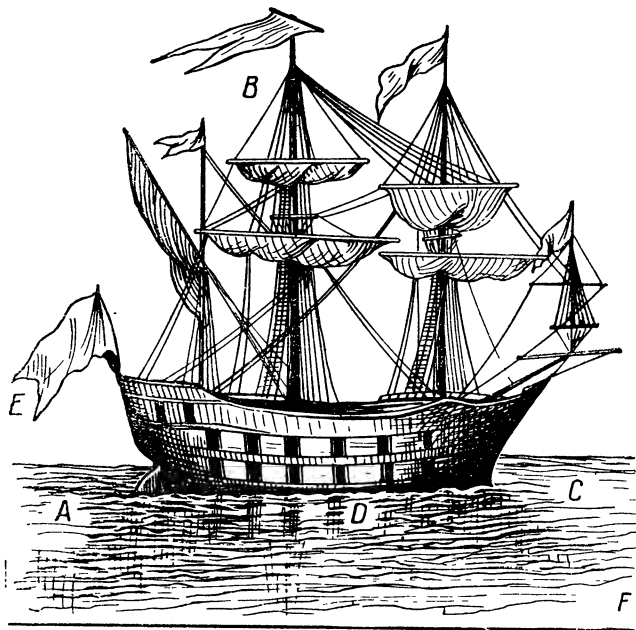
Фиг. 8.

ЗАДАЧА I. ПРЕДЛОЖЕНИЕ VI

Твердое тело известной величины плавает в воде, вес которой известен, причем некоторая часть его

возвышается над водою. Найти вес всего твердого тела.

Дано твердое тело $ABCD$ произвольной формы и вода EF , кубический фут которой весит 65 фун.



Фиг. 9.

(столько весит кубический фут воды в Дельфте в Голландии, как это определено опытом, на котором и покоятся последующие исчисления); объем погру-

женной части твердого тела пусть будет равен 10 000 кубических фут.

Требуется определить вес твердого тела $ABCD$ и всего, что в нем содержится.

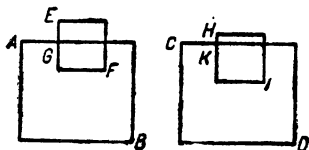
ДЕЙСТВИЕ

Помножим 10 000 на 65 фун.; получим как ответ 650 000 фун., что вытекает из ранее доказанного.

Заключение. Чтобы найти вес твердого тела известной величины, плавающего в воде таким образом, что некоторая часть его возвышается над водой, вес которой известен, надо поступить, как изложено.

ТЕОРЕМА VI. ПРЕДЛОЖЕНИЕ VII

Если твердое тело менее весома, чем две разнo-весомые жидкости, то отношение веса более тяжелой жидкости к весу менее тяжелой равно отношению объема части твердого тела, погруженной в менее тяжелую жидкость, к объему части, погруженной в более тяжелую жидкость.



Фиг. 10.

Дана жидкость AB , которая тяжелее жидкости CD , и твердое тело EF , которое легче обеих жидкостей; пусть погруженной частью тела в жидкость AB будет объем GF и в жидкость CD — объем KI .

Требуется доказать, что отношение веса жидкости AB к весу жидкости CD равно отношению объемов KI и GF .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Более тяжелая жидкость, взятая в объеме GF , весит столько же, сколько тело EF ; менее тяжелая жидкость, взятая в объеме KI , весит столько же, сколько тело HI , согласно предложению V. Но EF и HI являются лишь различными обозначениями одного и того же тела. Поэтому жидкость AB , взятая в объеме GF , будет весить столько же, сколько жидкость CD , взятая в объеме KI . Из определения V явствует, однако, что если два тела GF и KI имеют одинаковый вес, то отношение их объемов равно обратному отношению весов их материи; поэтому вес жидкости AB будет относиться к такому же CD , как объем KI к объему GF .

Заключение. Если твердое тело менее весомо и т. д.

ТЕОРЕМА VII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ VIII

Всякое твердое тело весит в воде менее, чем в воздухе, на величину равного ему объема воды.

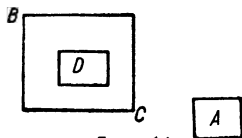
Дано твердое тело A и вода BC .

Требуется доказать, что если A будет помещено в воду BC , то вес его будет меньше, чем в воздухе, на величину веса объема воды, равного A .

Пусть D — форма, подобная и равная A .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Форма D , наполненная водою, имеет одинаковый с водою BC вес и потому, согласно предложению I, может сохранять в ней любое положение. Если вылить из формы D воду и поместить туда равное по объему тело A , то вес формы в воде будет равен весу A , уменьшенному на вес вылитой воды. Но объем последней равен A , следовательно, тело A весит в воде меньше, чем в воздухе, на величину веса равного ему объема воды, что и требовалось доказать ⁴.



Фиг. 11.

ЗАДАЧА II. ПРЕДЛОЖЕНИЕ IX

Дано отношение веса твердого тела к весу воды в том же объеме и собственный вес тела. Определить вес этого тела в воде.

Пример — в отношении твердого тела, которое легче воды.

Дана вода AB , твердое тело C , весящее 2 фун., и отношение веса воды к весу твердого тела, равное 5 к 1.

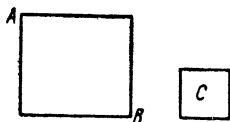
Требуется найти вес тела C в воде.

ДЕЙСТВИЕ

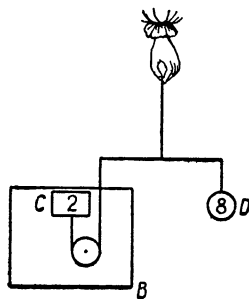
Вода в объеме тела C будет весить 5 раз 2 фун., т. е. 10 фун.; вычитая из этой величины 2 фун. (т. е. вес твердого тела), получим 8 фун. Таким образом тело C легче воды AB на 8 фун., которые стремятся его поднять.

Это можно наглядно пояснить, предположив, что тело C погружено в воду AB , в точке же D помещен груз в 8 фун., как показано на рисунке; тело и груз будут находиться при этом в равновесии.

II пример — в отношении



Фиг. 12



Фиг. 13.

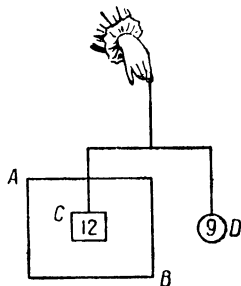
твердого тела, более тяжелого, чем вода, в которую оно предполагается погруженным.

Дано отношение веса воды AB к весу твердого тела C , равное 1 к 4, и вес C , равный 12 фун.

Требуется найти вес C в воде AB .

ДЕЙСТВИЕ

Вес воды в объеме тела C составляет $\frac{1}{4}$ веса C , или 12 фун., т. е. 3 фун.; вычитая их из 12 фун. веса C , получим 9 фун. как вес C в воде.



Фиг. 14.

В этом можно убедиться, поместив в точке D груз в 9 фун., который будет находиться в равно-

весии с 12-ти фунтовым телом C , погруженным в воду, как это показано на помещенном здесь рисунке.

Можно было бы привести и третий пример в отношении твердого тела, которое равновесомо с водою; однако, мы уже знаем из предложения VIII что такое тело не будет иметь в воде ни тяжести, ни легкости.

Заключение. Было дано отношение веса твердого тела к весу воды в том же объеме и собственный вес тела; мы определили вес его в воде, что и требовалось сделать.

ТЕОРЕМА VIII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ X

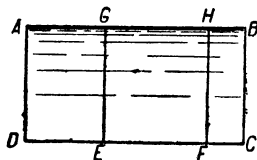
Давление на дно, параллельное горизонту и открытое водою, равно весу столба воды, основанием которого является указанное выше дно, а высоту — отрезок перпендикуляра к горизонту, заключенный между дном и поверхностью воды.

Дана вода $ABCD$, имеющая форму прямоугольного параллелепипеда, поверхность ее AB , дно EF и прямая EG , перпендикулярная к дну EF и поверхности воды; основанием столба воды пусть будет EF и высотой его GE , так что весь столб воды будет $GEFH$.

Требуется доказать, что давление на дно EF равно весу столба воды $GEFH$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление на дно EF большее, чем вес $GEFH$ может обуславливаться только окружающей водою $ADEG$ и $HFCB$, если вообще такое давление возможно. Но и на дно DE должно было бы тогда давить количество воды большее, чем $ADEG$, а на FC — большее, чем $HFCB$. Таким образом на DC должно было бы давить количество воды большее, чем $ADCB$, что является абсурдом, поскольку последняя фигура является прямоугольным параллелепипедом. Подобным же образом доказывается, что на EF не может давить груз меньший, чем $GEFH$; следовательно, давление на EF в точности равно весу столба воды $GEFH$.

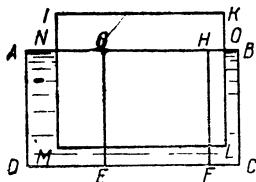


Фиг. 15.

СЛЕДСТВИЕ I

Поместим в воду $ABCD$, о которой шла речь в предложении X, твердое тело IL более легкое, чем вода, и потому в ней плавающее; пусть, далее, NL — погруженная его часть и NK — выступающая из воды. При этом твердое тело IL будет весить согласно предложению V столько же, сколько вода $NOML$, откуда следует, что тело IL вместе с окружающей его водою весит столько же, сколько вода $ABCD$. На основании предыдущего предложения мы можем, однако, утверждать, что давление

на дно EF равно весу столба воды $GEFH$, имеющего основанием EF и высотой GE , т. е. отрезок прямой, перпендикулярной к основанию EF и поверхности воды AB . Отсюда заключаем, что присутствие в воде плавающего тела не изменяет величины давления на дно, если уровень воды не изменяется.

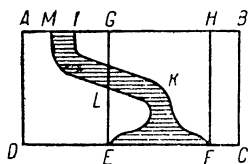


Фиг. 16.

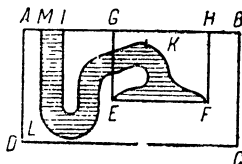
СЛЕДСТВИЕ II

Представим себе в воде $ABCD$ одно или несколько твердых тел, равновесомых с водою, так что воде остается лишь место $IKFELM$; это тело не увеличит и не уменьшит давления на дно EF по сравнению с первоначальным.

Поэтому согласно предложению давление на дно



Фиг. 17.

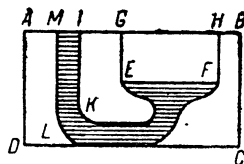


Фиг. 18.

EF и в этом случае будет равно весу столба воды, имеющего своим основанием указанное дно, а высотой GE , т. е. отрезок прямой, перпендикулярной к горизонту и ограниченной дном и поверхностью воды,

СЛЕДСТВИЕ III

Если расположить в воде $ABCD$ дно EF , параллельное горизонту, то вода будет давить на него одинаково как снизу вверх, стремясь его поднять, так и сверху вниз, стремясь его опустить; если бы этого не было, то большее усилие преодолело бы меньшее; на самом деле этого нет, и дно сохраняет свое положение, как это и должно быть в соответствии с предложением I. Представим себе теперь в воде несколько твердых тел, равновесных с водой и так расположенных, что вода $IKFELM$ давит снизу на дно EF , принадлежащее теперь твердому телу. Это давление воды снизу равно, очевидно,



Фиг. 19.

тому, которое действовало ранее на свободное дно, но уравнивалось равным ему давлением воды сверху. Таким образом дно EF будет теперь испытывать усилие, направленное вверх и равное направленному вниз давлению на то же дно EF веса столба воды $GEFH$, согласно предложению, ибо GE есть отрезок перпендикуляра, заключенный между поверхностью воды и дном EF .

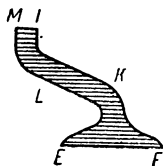
СЛЕДСТВИЕ IV

Если сохранить на месте твердые тела, о которых шла речь в следствиях II и III, воду же удалить, то образуется пустое пространство $IKFELM$;

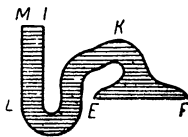
дно EF не будет при этом испытывать никакого давления; если же снова заполнить это пустое пространство водою, то дно будет испытывать такое же давление, как если бы весь сосуд был заполнен водою и твердые тела были удалены.

СЛЕДСТВИЕ V

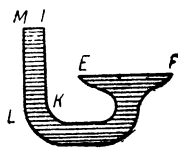
Если же мы представим себе, что все бесполезное вещество твердых тел удалено, и осталась лишь оболочка, удерживающая воду в положении $MIKFEL$, изображенном на рисунке, то дно EF будет испытывать такое же усилие, как если бы на



Фиг. 20.



Фиг. 21.



Фиг. 22.

него давил вес столба воды с основанием, равным указанному дну, и высотой, равной отрезку перпендикуляра, заключенному между основанием и поверхностью воды.

Заключение. Следовательно, давление на дно, параллельное горизонту и покрытое водою, равно весу и т. д.

См. выводы, сделанные отсюда, в книге, трактующей о началах практических применений гидростатики.

ЗАМЕЧАНИЕ

Предложение X можно было бы изложить также следующим образом:

давление на дно, покрытое водою и параллельное ее поверхности, равно весу воды, заключенной в отрезке шарового сектора, ограниченном сферической поверхностью земли и параллельной ей, или концентрической, шаровой поверхностью.

Можно было бы привести и соответствующие доказательства, подобные предыдущим; однако, мы от этого отказались по причинам, изложенным в пояснениях к постулатам VI и VII.

ТЕОРЕМА IX. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XI

Давление на правильную стенку, высшая точка которой лежит на поверхности воды, равно весу половины столба воды, имеющего своим основанием указанную стенку и высотой отрезок перпендикуляра, заключенный между уровнями, проходящими через наивысшую и наинизшую точки указанной стенки.

Пример I. Дан сосуд AB , наполненный водою, и стенка $ACDE$, которая пусть будет сперва параллелограмом, не параллельным, как ранее, горизонту, а к нему перпендикулярным; пусть верхняя сторона его AC лежит на поверхности воды, и линия AE является отрезком перпендикуляра, заключенным между двумя уровнями, проходящими через наивысшую и наинизшую точки указанной стенки. Отметим на линии DB , параллельной горизонту, точку H так, чтобы DH было равно DC , и проведем CH так, чтобы тело $ACHDE$ являлось половиною столба,

давит вес твердого тела $MNOPQ$, подобного и равного $ACHDE$. Линия QO , равная DH , пусть будет перпендикуляром к горизонту. Утверждаю, что давление тела $MNOPQ$ на дно $MNOP$ (большее по направлению к NO и меньшее к MP , потому что так располагается объем и вес тела) равно давлению воды на дно $ACDE$ (большему по направлению к ED и меньшему к AC).

Разделим AE на четыре равных части точками R, S, T и проведем прямые RV, SX, TY , параллельные AC , а также прямые Va, Xb, Yc , параллельные DH , пересекающие CH в точках d, e, f и имеющие такую длину, что каждый из отрезков da, eb, fc равен отрезку Vd . Проведем, далее, через точку d линию gh , параллельную CD и пересекающую Xb в i , а Yc в k , через точку e линию al , пересекающую Yc в m , через точку f линию bn и, наконец, линию cH ⁵.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление на часть стенки $ACVR$ не может быть равным нулю; последнее имело бы место лишь в том случае, если бы она была вся расположена на поверхности воды; она находится, однако, ниже, и потому давление на нее должно быть больше нуля. Указанное давление должно быть, вместе с тем, менее веса воды $ACgdVR$, так как это последнее давление имело бы место согласно предложению X лишь в том случае, если бы стенка располагалась

параллельно горизонту в уровне RV ; она находится, однако, выше, а потому и давление на нее должно быть меньшим. Далее, утверждаю подобным же образом, что давление на площадь $RVXS$ больше веса воды $ACgdVR$, так как эта площадь лежит ниже уровня Vd , или равного веса воды $RVdiXS$; однако, это давление меньше веса воды $ACgiXS$, так как стенка RX лежит выше уровня SXi ; но тело $ACgiXS$ равно телу $RVaeXS$, почему давление на стенку RX менее веса воды $RVaeXS$. Точно так же давление на стенку SY больше, чем $ACgiXS$, так как она расположена ниже уровня SXi ; а так как указанный объем равен объему $SXemYT$, то на стенку SY будет давить вес больший, чем $SXemYT$. Далее, утверждаю, что давление на указанную стенку меньше, чем $ACgkYT$, так как она лежит выше уровня TYk ; но указанное тело $ACgkYT$ равно $SXbfYT$, почему давление на стенку будет менее $SXbfYT$. Аналогично давление на стенку TD больше, чем $TYfnDE$, но меньше, чем Ah , так как она лежит выше уровня EDh ; но указанное тело Ah равно телу $TYcHDE$; поэтому на стенку TD давит груз меньший, чем $TYcHDE$. Итак, давление

на стенку	AV	больше, чем	O	и мень- ше, чем	$ACgdVR$
	RX		$RVdiXS$		$RVaeXS$
	SY		$SXemYT$		$SXbfYT$
	TD		$TYfnDE$		$TYcHDE$

Отсюда следует, что давление на всю стенку $ACDE$ больше, чем совокупность тел $RVdiemfnDE$ вписанных в половину столба $ACHDE$, но меньше совокупности тел $ACgdaebfcHDE$, описанных около нее.

Если разделить стенку $ACDE$ более чем на четыре части, например на восемь, то мы увидим, что разность между объемами описанных и вписанных тел будет равна лишь половине ранее найденной; поэтому стенку можно разделить на такое число равных частей, что разность между объемами тел, вписанных в половину столба и описанных около нее, будет меньше любого данного объема, как бы последний ни был мал. Отсюда прихожу к следующему заключению:

всякое давление, отличающееся от испытываемого стенкой $ACDE$ на величину, меньшую любой данной, равно давлению, испытываемому стенкой $ACDE$;

вес половины столба $ACHDE$ есть давление, отличающееся от груза, давящего на стенку $ACDE$, на величину, меньшую любой данной;

поэтому вес половины столба $ACHDE$ равен весу, давящему на стенку $ACDE$.

Пример II. Дан другой сосуд AB , наполненный водою; боковая стенка его $ACDE$ есть параллелограм, наклонный к горизонту, верхняя сторона которого AC лежит на поверхности воды $ACFG$; пусть этот параллелограм разделен, как и в первом примере, на равные части, и пусть AO есть перпендикуляр к горизонту, достигающий уровня ED .

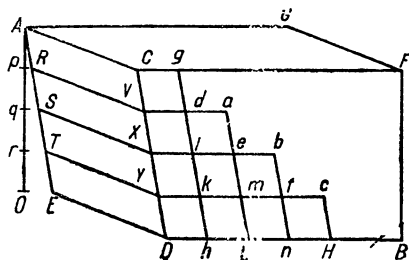
Требуется доказать, что вес воды, давящей на стенку $ACDE$, равен половине столба, имеющего основанием стенку $ACDE$ и высотой AO .

Разделим AO на четыре равных части точками p, q, r .

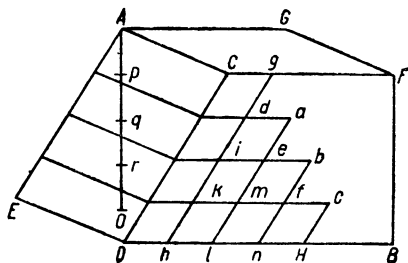
ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление на часть стенки AV должно быть большим нуля, так

как она лежит ниже уровня Ag , на котором давление было бы равно нулю. Вместе с тем это давление на стенку AV меньше веса тела Ad , так как эта стенка расположена выше дна RVd , на которое согласно предложению X давит указанное тело Ad , высотой которого является Ar . Рассуждая по-



Фиг. 25.



Фиг. 26.

добно предыдущему, докажем, что давление на стенку $ACDE$ равно весу половины столба $AEDH$

(предполагая, как и ранее предполагалось, что DH равно DC).

Но параллелограм EH равен $ACDE$; поэтому половина столба AH равна половине столба, имеющего основанием AD и высотой AO . Итак, давление на стенку $ACDE$ равно весу половины столба воды, имеющего основанием $ACDE$ и высотой AO .

Пример III. Дана правильная стенка AB , допустим, эллипс; пусть наивысшая точка его A лежит на поверхности воды, и через наинизшую точку его B проходит уровень, на который опущен перпендикуляр AC .

Требуется доказать, что давление воды на стенку BA равно весу половины столба, имеющего основанием AB и высотой AC .

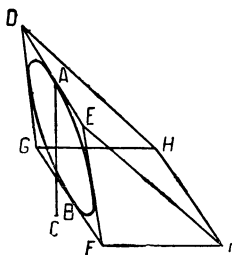
Опишем около эллипса AB параллелограм $DEFG$ так, чтобы линия DE лежала на поверхности воды и касалась эллипса в точке A , а линия GF касалась его в точке B .

Проведем, далее, линию FI , равную FE , лежащую в горизонтальной плоскости и перпендикулярную к FG , построим прямоугольник $FGHI$ и проведем прямые EI и DH .

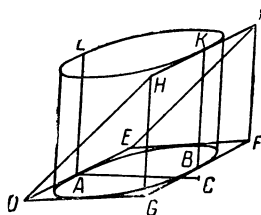
Возьмем теперь другое тело, подобное первому и равное ему по весу, но расположенное таким образом, что линия FI перпендикулярна к горизонту, как это изображено на рисунке; при этом твердое тело $DEFGHI$ будет давить на поверхность $DEFG$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление, которое твердое тело $DEFGHI$ (фиг. 28) оказывает на дно $DEFG$, равно давлению, которое вода оказывает на стенку $DEFG$ (фиг. 27), как это было только что доказано. Поэтому давление, которое испытывает эллипс (фиг. 28), равно давлению, испытываемому эллипсом AB (фиг. 27). Но давление на эллипс (фиг. 28), как мы покажем



Фиг. 27.



Фиг. 28.

ниже, равно весу половины столба, основанием которого является эллипс, а высотой — линия AC (так как, если опустить из точки K перпендикуляр на плоскость эллипса, то он будет равен линии AC); точно так же и давление воды на эллипс AB (фиг. 27) будет равно весу половины столба, основанием которого является эллипс, а высотой AC .

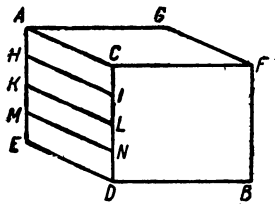
То, что груз, давящий на эллипс AB (фиг. 28), равен половине столба, имеющего основанием эллипс и высотой AC , доказывается следующим образом. Проведем BK , равную и параллельную FI , и заставим ее перемещаться, оставаясь все время

параллельной FI , так, чтобы конечная точка ее B обошла весь эллипс AB ; он опишет при этом колонну, ограниченную основаниями AB , KL и рас-сеченную плоскостью, проходящей через две одно-родно и диагонально расположенных точки. Но вся-кая колонна, имеющая правильное основание, де-лится такою плоскостью, проходящей через две диагонально противоположные точки, на две равные части. Поэтому часть колонны, расположенная ниже плоскости $DEIH$, будет половиною всей колонны $ABKL$, давящей на эллипс AB . Но колонна $ABKL$ равна столбу, имеющему основание AB и высо-ту AC , так как ее высота также равна AC . Отсюда следует, что давление на эллипс AB равно весу половины столба воды, имеющего основанием эл-липс и высотой линию AC .

Пример IV. Выше мы привели три примера, содержащих математические доказательства и пояс-няющие сущность вопроса; сейчас мы приведем чис-ленный пример, что также будет не вредно для дела.

Дан сосуд AB , наполнен-ный водою, квадратная стенка которого AD пер-пендикулярна к горизонту.

Пусть высота его CD , так же как и линия AC , лежащая на поверхности воды, имеют по одному футу длины; величина AF может быть произвольной.



Фиг. 29.

Требуется доказать, что давление воды на стенку AD равно весу половины столба воды, имеющего основание AD и высоту AE , т. е. весу половины 1 куб. фута воды.

Разделим стенку на четыре равных части линиями HI , KL и MN , параллельными AC .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Ясно, что давление на стенку AI больше нуля, так как она расположена ниже поверхности воды; однако, оно меньше веса $\frac{1}{16}$ куб. фута воды, так как эта стенка расположена выше уровня HI . Точно так же давление на HL больше $\frac{1}{16}$ и меньше $\frac{2}{16}$, а давление на KN больше $\frac{2}{16}$ и меньше $\frac{3}{16}$; наконец, давление на MD больше $\frac{3}{16}$ и меньше $\frac{4}{16}$. Складывая меньшие давления, т. е. 0 , $\frac{1}{16}$, $\frac{2}{16}$ и $\frac{3}{16}$, получаем $\frac{6}{16}$; складывая же большие давления, т. е. $\frac{1}{16}$, $\frac{2}{16}$, $\frac{3}{16}$ и $\frac{4}{16}$, получаем $\frac{10}{16}$. Таким образом давление на AD больше $\frac{6}{16}$, но меньше $\frac{10}{16}$; между этими величинами лежит $\frac{1}{2}$, в отношении которой мы должны доказать, что именно она выражает давление на стенку AD .

Но стенка, которую мы разделили на четыре

части, может быть поделена на любое другое число частей, например 10; тогда на основании предыдущих рассуждений найдем, что меньшие давления выражаются числами $0, \frac{1}{100}, \frac{2}{100}, \frac{3}{100}$ и т. д. до $\frac{9}{100}$, что дает в сумме $\frac{45}{100}$, большие же давления выражаются числами $\frac{1}{100}, \frac{2}{100}, \frac{3}{100}$ и т. д. до $\frac{10}{100}$, что дает в сумме $\frac{55}{100}$. Таким образом давление на стенку оказывается бóльшим, чем $\frac{45}{100}$, но меньшим, чем $\frac{55}{100}$. Указанные пределы ближе к $\frac{1}{2}$, лежащей между ними, чем ранее найденные; и чем больше число частей, на которые мы делим стенку, тем ближе эти пределы подходят к $\frac{1}{2}$.

Примем теперь, что давление на стенку AD больше или меньше веса $\frac{1}{2}$ куб. фута воды на вес $\frac{1}{1000}$ куб. фута, если только это возможно. Разделим стенку на 1000 равных частей. Тогда меньшие давления будут $0, \frac{1}{1000000}, \frac{2}{1000000}$ и т. д. до $\frac{999}{1000000}$, каковые составят в сумме $\frac{499500}{1000000}$; большие же давления будут $\frac{1}{1000000}, \frac{2}{1000000}, \frac{3}{1000000}$ и т. д. до $\frac{1000}{1000000}$, сумма которых будет равна $\frac{500500}{1000000}$. Давление на

стенку AD будет, следовательно, больше $\frac{499\,500}{1\,000\,000}$ и меньше $\frac{500\,500}{1\,000\,000}$. Но как первая, так и вторая величина отличаются от $\frac{1}{2}$ на $\frac{1}{2000}$, т. е. на величину меньшую, чем принятая выше $\frac{1}{1000}$. Таким образом мы всегда можем доказать, что разность между объемом тела, которое давит на AD , и $\frac{1}{2}$ куб. фута меньше любой данной величины. Отсюда прихожу к следующему заключению:

если данное давление отлично от веса $\frac{1}{2}$ куб. фута воды, то всегда можно найти давление, меньшее, чем разность указанных двух величин;

вместе с тем нельзя указать давления, которое было бы меньше, чем разность между давлением на стенку AD и весом $\frac{1}{2}$ куб. фута воды;

поэтому давление на стенку AD нисколько не отличается от веса $\frac{1}{2}$ куб. фута воды.

Заключение. Таким образом на правильную стенку и т. д.

Причина, по которой $\frac{1}{2}$ всегда остается равноудаленной от двух пределов, которые постепенно сближаются, но никогда не могут ее достигнуть, изложена в следующей теореме:

ТЕОРЕМА

В арифметической прогрессии, первым членом которой является единица, и всякий последующий член которой больше предыдущего также на единицу, половина квадрата последнего наибольшего члена меньше суммы всех членов прогрессии, но больше суммы всех ее членов без последнего ⁶.

ЗАМЕЧАНИЕ

Вместо половины столба жидкости, о котором говорилось выше, мы можем взять и целый столб ее, имеющий то же основание, но лишь половину прежней высоты. При этом мы получаем следующую теорему:

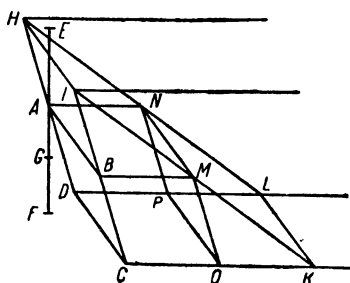
если имеем правильную стенку, наивысшая часть которой находится на поверхности воды, то испытываемое ею давление равно весу столба воды, имеющего основанием указанную стенку, а высотой — половину перпендикуляра, заключенного между уровнями, проходящими через наивысшую и низшую часть стенки.

Подобным же образом может быть сформулировано и следующее предложение XII.

ТЕОРЕМА X. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XII

Если наивысшая часть правильной стенки находится ниже поверхности воды, то испытываемое ею давление равно весу столба воды, имеющего основанием указанную стенку, а высотой — отрезок перпендикуляра между поверхностью воды и наивысшей точкой основания, сложенный с половиной перпендикуляра, опущенного из наивысшей точки стенки на уровень, проходящий через низшую ее точку

Пример I. Дана правильная стенка $ABCD$, имеющая, как и ранее, форму параллелограмма; пусть верхняя сторона ее AB , параллельная горизонту, лежит ниже уровня воды; пусть, далее, EA — отрезок перпендикуляра, ограниченный поверхностью воды и наивысшей точкой стенки A , и AF — перпендикуляр, опущенный из точки A на уровень воды,



Фиг. 30.

проходящий через DC ; пусть линия AG будет при этом равна половине AE .

Требуется доказать, что давление воды на стенку $ABCD$ равно весу столба воды, имеющего основание $ABCD$ и высоту EG .

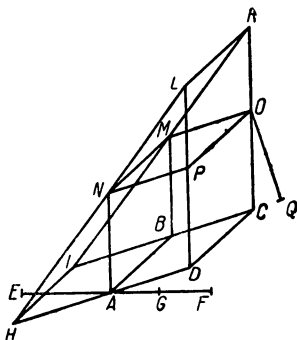
Продолжим линии AD и CB до точек H и I , лежащих на поверхности воды, и проведем HI . Далее, проведем CK , лежащую в нижнем уровне воды, равную CI и перпендикулярную к DC , а затем DL , равную и параллельную CK ; наконец, проведем AN и BM , параллельные CK , из которых вторая пересекает IK в точке M .

Построим теперь другую фигуру, подобную описанному столбу воды и равную ему по весу, но расположенную таким образом, что линия CK перпендикулярна к горизонту.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление, которое оказывает на стенку $CDHI$ тело $CDHIKL$ (фиг. 31), равно давлению на ту же стенку $CDHI$ воды (фиг. 30), как это было доказано в предложении XI; подобным же образом давление, оказываемое телом $ABCDLKMN$ (фиг. 31) на стенку $ABCD$, равно давлению на ту же стенку $ABCD$ воды (фиг. 30). Но тело $ABCDLKMN$ равно столбу воды с основанием $ABCD$ и высотой GE , как мы увидим далее, поэтому давление воды на стенку $ABCD$ (фиг. 30) равно весу столба воды, основание которого равно $ABCD$ и высота — GE .

То, что тело $ABCDLKMN$ равно столбу с основанием $ABCD$ и высотой EG , видно из следующего. Проведем OQ , перпендикулярную к плоскости $ABCD$; тогда OQ будет высотой тела AO , каковое тело AO равно столбу, имеющему основание $ABCD$ и высоту OQ . Но так как $АН$ и $ОС$ равны между собою, равно как и углы $НЕА$ и $СОQ$, углы же $НЕА$ и $СQO$ суть прямые, то линии $ЕА$ и $ОQ$ равны между собою. Поэтому тело AO равно столбу, имеющему основание $ABCD$ и высоту $ЕА$. Далее, тело $MNOPKL$ равно столбу,

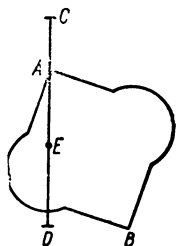


Фиг. 31.

имеющему основание $POKL$, равное $MNOP$ или $ABCD$, и высоту AG , согласно замечанию к предложению XI. Поэтому совокупность указанных двух тел $ABCDLKMN$ будет равна столбу, имеющему основание $ABCD$ и высоту EG .

ДРУГОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Предположим, что на уровне воды AB (фиг. 30) расположено дно такое же, как $ABCD$; давление



Фиг. 32.

на это дно согласно предложению X будет равно весу столба воды, имеющего основание $ABCD$ и высоту AE ; это же и еще большее давление будет, очевидно, испытывать дно, помещенное ниже. Таким образом на $ABCD$ давит вес столба, имеющего основание $ABCD$ и высоту AE . Если отнять теперь воду, которая находится выше, так, чтобы

AB лежала на поверхности воды, то давление на $ABCD$ будет равно телу MOL , т. е. весу столба, имеющего основание OL или $ABCD$, равное ему, и высоту AG ; совокупность этих тел составит, как и выше, столб, имеющий основание $ABCD$ и высоту EG .

Пример II. Пусть AB — правильная стенка, наивысшая точка которой A находится ниже поверхности воды C , и AD — перпендикуляр, опущенный из точки A на уровень, проходящий через наиболее

низкую точку основания B ; продолжим этот перпендикуляр до пересечения с поверхностью воды в точке C , и пусть точка E есть середина AD .

Утверждаю, что давление на AB равно весу столба воды, основание которого равно AB , а высота — CE , что можно доказать подобно предыдущему.

Заключение. Если наивысшая часть правильной стенки находится ниже поверхности воды и т. д.

ЗАМЕЧАНИЕ

Давление на правильные стенки мы определяли выше при помощи перпендикуляров, опущенных из наивысших точек этих стенок; но, когда эти последние неправильны, то давление не может быть найдено при помощи указанных перпендикуляров. Правда, давление на такие стенки больше, чем, если бы они были расположены на уровне, проходящем через наивысшие точки их, т. е. больше веса столба воды, имеющего основанием данную стенку, а высотой перпендикуляр, опущенный из этой точки на поверхность воды. Но другая часть этого давления уже не равна весу половины столба, имеющего основанием ту же стенку, а высотой — перпендикуляр, опущенный из наивысшей точки стенки на уровень, проходящий через наиболее низкую ее точку. Причина этому та, что столб не может быть здесь рассечен (как в случае правильной стенки) на две равные части плоскостью, проходящей диагонально через две однородно расположенные точки. Как отыскивается давление в случае неправильных стенок, мы покажем в следующем предложении.

ЗАДАЧА III. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIII

Дана находящаяся под водсю плоская стенка любой формы. Найти объем воды, вес которого

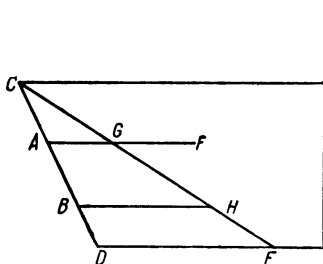
был бы равен давлению, испытываемому указанной стенкой.

Дана плоская стенка AB произвольной формы, находящаяся под водою.

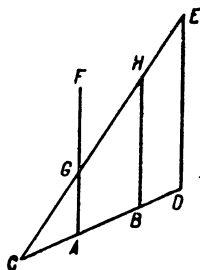
Требуется найти объем воды, вес которого был бы равен давлению, испытываемому стенкой AB .

ПОСТРОЕНИЕ

Продолжаю плоскость, в которой лежит стенка AB , так, чтобы она пересекла поверхность воды в C ; далее,



Фиг. 33.



Фиг. 34.

провожу линию CD , лежащую в указанной плоскости и перпендикулярную к линии сечения этой плоскости с горизонтальной поверхностью воды; затем провожу DE , равную DC , лежащую в нижнем уровне и перпендикулярную к линии сечения плоскостью стенки AB с горизонтальной плоскостью, в которой лежит DE . После этого провожу через CE неограниченную плоскость, перпендикулярную к плоскости CDE .

Если взять теперь на периметре стенки какую-либо точку, например A , провести через нее неограниченную прямую AF и перемещать последнюю так, чтобы она оставалась все время параллельной DE , а точка A скользила по периметру стенки, то прямая эта опишет цилиндрическую поверхность, являющуюся боковой поверхностью тела, ограниченного двумя площадями проведенных ранее плоскостей CD и CE и указанной поверхностью, т. е. $AGHB$. Утверждаю, что объем воды, разный телу $AGHB$, имеет вес, равный давлению воды на данную стенку.

Построим другую фигуру, подобную и равную первой, весящую столько же, сколько вода, но расположенную таким образом, что линия DE перпендикулярна к горизонту.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

То же давление, которое испытывает AB (фиг. 34), испытывает и AB (фиг. 33), как это уже было доказано выше; но AB (фиг. 34) испытывает давление тела $AGHB$, почему и стенка AB (фиг. 33) испытывает давление, равное весу столба воды $AGHB$, что и требовалось доказать.

Заключение. Итак, если дана находящаяся под водою плоская стенка и т. д.

ТЕОРЕМА XI. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIV

Если две стенки представляют собою параллелограммы одинаковой ширины, погруженные в воду на

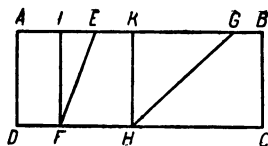
одинаковую глубину так, что равные верхние стороны их находятся на поверхности воды, то отношение величин давления на эти стенки равно отношению их длин⁷.

Даны две стенки EF и GH , представляющие собою параллелограммы одинаковой ширины, погруженные на одинаковую глубину в воду $ABCD$, равные верхние стороны которых E и G лежат на поверхности воды; также даны перпендикуляры IF и KH .

Требуется доказать, что отношение длины EF к длине GH равно отношению давления на стенку EF к давлению на стенку GH .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление воды на стенку EF равно весу половины столба воды, имеющего высоту IF и осно-



Фиг. 35.

ванием — площадь EF согласно предложению X. Равным образом давление воды на стенку GH равно половине столба воды, имеющего высоту KH и основанием площадь GH . Но так как эти столбы имеют одинаковую высоту, то объемы их будут относиться, как площади их оснований, а при равной ширине последних — как длины EF и GH ; таково же будет отношение и половин их, а следовательно, и давлений воды на стенки EF и GH .

Заключение. Итак, если две стенки представляют собою параллелограммы и т. д.

ЗАДАЧА IV. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XV

Дана стенка, представляющая собою параллелограм, не параллельный горизонту. Известны: длина верхней его стороны, расположенной на поверхности воды, длина перпендикуляра, соединяющего эту верхнюю сторону с противоположной, и длина отрезка перпендикуляра между поверхностью воды и уровнем, проходящим через нижнюю сторону. Найти давление воды на указанную стенку.

ЗАМЕЧАНИЕ

Всякий параллелограм, не параллельный горизонту и имеющий верхнюю сторону на поверхности воды, будет или прямоугольным, или косоугольным и притом или перпендикулярным, или наклонным к горизонту. Поэтому здесь имеют место четыре различных случая, для которых мы и дадим четыре примера, сводящихся к двум парным предложениям. В первом примере, когда мы имеем прямоугольник, перпендикулярный к горизонту, у нас совпадают следующие три линии: одна из сторон, не параллельных горизонту, перпендикуляр, опущенный из крайней точки верхней стороны на противоположную сторону, и перпендикуляр, опущенный из той же точки на уровень, проходящий через нижнюю сторону; во втором примере, когда мы имеем параллелограм, перпендикулярный к горизонту, у нас совпадают две линии: перпендикуляр, опущенный из крайней точки верхней стороны на нижнюю, и перпендикуляр, опущенный из той же точки на уровень, проходящий через эту последнюю сторону; в третьем примере, когда мы имеем прямоугольник, наклонный к горизонту, у нас совпадают также

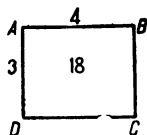
две линии: сторона, не параллельная горизонту, и перпендикуляр, опущенный из крайней точки верхней стороны на нижнюю сторону; в четвертом случае, когда мы имеем параллелограм, наклонный к горизонту, все три линии, перечисленные выше, остаются различными.

Пример I. Дан прямоугольник $ABCD$, перпендикулярный к горизонту, сторона которого AB лежит на поверхности воды; длина AB равна 4 фут. и длина AD — 3 фут.

Найти давление воды на $ABCD$.

ДЕЙСТВИЕ

Умножаю AD — 3 на AB — 4; получаю 12, которые снова умножаю на AD — 3; получаю 36; половина этого числа дает 18 куб. фут.; а так как 1 куб. фут. воды весит 65 фун., то 18 куб. фут. весят 1170 фун., что и требовалось определить.



Фиг. 36.

Пример II. Дан параллелограмм $ABCD$, перпендикулярный к горизонту, сторона которого AB , лежащая на поверхности воды, равна 4 фут.; длина перпендикуляра AE , опущенного из A на CD , равна 3 фут.

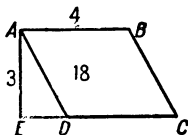
Найти давление воды на $ABCD$.

ДЕЙСТВИЕ

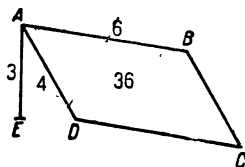
Умножаю AE — 3 на AB — 4; получаю 12, которые снова умножаю на AE — 3, получаю 36; половина этого числа дает 18 куб. фут. Можно также

помножить квадрат AE — 3 на половину AB — 4; получится также 18 куб. фут.

Пример III. Дан прямоугольник $ABCD$, наклонный к горизонту, сторона которого AB , лежащая на поверхности воды, равна 6 фут.; длина AB равна 4 фут. и длина перпендикуляра AE , опущен-



Фиг. 37.



Фиг. 38.

ного из A на уровень, проходящий через нижнюю сторону, равна 3 фут.

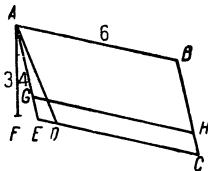
Найти давление воды на $ABCD$.

ДЕЙСТВИЕ

Перемножаю 6, 4 и 3; получаю 72; половина этого числа дает 36 куб. фут.

Пример IV. Дан параллелограмм $ABCD$, наклонный к горизонту, сторона которого AB лежащая на поверхности воды, равна 6 фут.; длина перпендикуляра AE , опущенного на DC , равна 4 фут., и длина перпендикуляра AF , опущенного на нижний уровень, — 3 фут.

Найти давление воды на $ABCD$.



Фиг. 39.

ДЕЙСТВИЕ

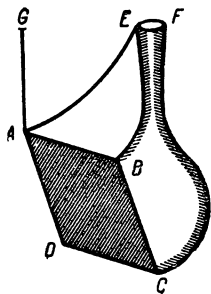
Перемножая 6, 4 и 3; получаю 72; половина этого числа дает 36 куб. фут. воды, производящих давление на $ABCD$.

Следовательно, задача решена.

Заключение. Итак, если дана стенка, представляющая собою параллелограм, не параллельный горизонту, и т. д.

СЛЕДСТВИЕ I

Из предыдущего ясно, как можно определить давление воды на параллелограм и в том случае, когда верхняя сторона его лежит ниже поверхности воды. Действительно, прибавляя к давлению, определенному выше, давление столба воды, имеющего основанием тот же параллелограм, а высотой—отрезок перпендикуляра между верхней стороной и поверхностью воды, мы получаем в сумме искомое давление.



Фиг. 40.

Пусть, например, $ABCD$ — параллелограм, наклонный к горизонту, верхняя сторона которого AB лежит ниже уровня воды EFG .

Пусть линия GA равна 3 футам и $BACD$ — 20 кв. футам. Допустим, что если бы AB лежала на уровне воды, то давление на стенку было бы равно весу 40 куб. фут. воды. Спрашива-

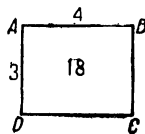
ется: каково же давление воды в данном случае? Умножаю $ABCD$ — 20 на GA — 3; получаю 60 куб. фут.; прибавляю их к 40 и получаю 100 куб. фут., вес которых давит на $ABCD$.

СЛЕДСТВИЕ II

Если плоская стенка неправильная, то объем воды, вес которого равен давлению на стенку, найдется согласно предположению XIII; этот объем позволит определить и искомое давление.

ЗАДАЧА V. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVI

Дана стенка, представляющая собою параллелограм, не параллельный горизонту, верхняя сторона которого лежит на поверхности воды. Известны: давление на эту стенку, длина перпендикуляра, соединяющего верхнюю и нижнюю стороны, и длина перпендикуляра, опущенного из какой-нибудь точки верхней стороны на уровень, проходящий через нижнюю сторону. Найти длину верхней стороны.



Фиг. 41.

Пример I. Дан прямоугольник $ABCD$, перпендикулярный к горизонту; давление на него равно весу 18 куб. фут. воды; сторона AD имеет 3 фута длины; верхняя сторона его AB , длина которой неизвестна, лежит на поверхности воды.

Требуется определить длину AB .

ДЕЙСТВИЕ

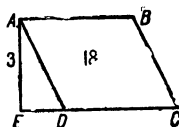
Делю 18 на квадрат $AD = 3$; получаю 2; удвоение этой величины дает 4 фута, как длину AB .

Пример II. Дан параллелограмм $ABCD$, перпендикулярный к горизонту; давление на него равно весу 18 куб. фут. воды; длина перпендикуляра AE , опущенного из A на DC , равна 3 фут.; верхняя сторона AB , длина которой неизвестна, лежит на поверхности воды.

Требуется определить длину AB

ДЕЙСТВИЕ

Делю 18 на квадрат $AE = 3$; получаю 2; удвоение этой величины дает 4 фута.

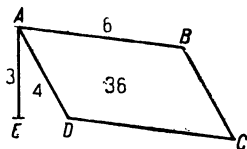


Фиг. 42.

Пример III. Дан прямоугольник $ABCD$, наклонный к горизонту; давление на него равно весу 36 куб. фут. воды; верхняя сторона его AB , длина которой неизвестна, лежит на поверхности воды; длина AD равна

4 фут., и длина перпендикуляра AE , опущенного из A на уровень DC , равна 3 фут.

Требуется определить длину AB .



Фиг. 43.

ДЕЙСТВИЕ

Умножаю $AE = 3$ на $AD = 4$; получаю 12; деля 36 на 12, получаю 3; удвоение этой величины дает 6 фут. как длину AB .

Пример IV. Дан параллелограм $ABCD$, наклонный к горизонту; давление на него равно весу 36 куб. фут. воды; верхняя сторона AB , длина которой неизвестна, лежит на поверхности воды; длина перпендикуляра AE , опущенного из точки A на основание DC , равна 4 фут., и длина перпендикуляра AF , опущенного из той же точки на уровень, проходящий через нижнюю сторону, равна 3 фут.

Требуется определить длину AB .

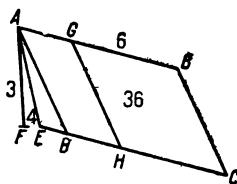
ДЕЙСТВИЕ

Умножаю $AF = 3$ на $AE = 4$; получаю 12; деля 36 на 12, получаю 3; удвоение этой величины дает 6 фут. Таким образом задача разрешена.

Заключение. Итак, если дана стенка, представляющая собою параллелограм, и т. д.

СЛЕДСТВИЕ I

Из предыдущих примеров легко вывести, как можно определить длину верхней стороны, когда она лежит ниже уровня воды. В самом деле, если от веса всей воды, давящей на стенку, отнять вес столба ее, имеющий основанием ту же стенку, а высоту — перпендикуляр, опущенный из какой-либо точки верхней стороны на поверхность воды, то останется вес воды, который давит на стенку, когда верхняя сторона ее лежит на поверхности воды; отсюда длина ее найдется изложенным выше способом.



Фиг. 44.

Но, чтобы найти вес или объем столба воды, который следует вычесть, надо взять такую часть веса или объема всего столба воды, которая относилась бы ко всей его величине, как длина перпендикуляра, заключенного между верхней стороной стенки и поверхностью воды, к сумме той же длины с половиною длины перпендикуляра, заключенного между верхней стороной и уровнем воды, проходящим через нижнюю сторону стенки. В этом легко убедиться, обратившись к фигуре первого примера предложения XII, где AE изображает первую из названных линий, а GE —сумму первой и второй линий. Указанная пропорция позволяет легко определить величину столба, который надо отнять.

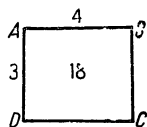
СЛЕДСТВИЕ II

Если провести на стенке линию, параллельную тем сторонам параллелограмма, которые не параллельны горизонту, то можно будет определить длину отсеченного отрезка верхней стороны. Проведем, например, на фигуре изложенного выше четвертого примера линию GH , параллельную AD , так, чтобы на $AGHD$ давил вес 12 куб. фута. воды. Определяя, какую часть 36 составляет 12; получаю $\frac{1}{3}$; поэтому и AG составляет $\frac{1}{3} AB$, т. е. 2 фута.

ЗАДАЧА VI. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVII

Дана стенка, находящаяся под водою и представляющая собою параллелограм, не параллельный

горизонту, верхняя сторона которого, известной длины, лежит на поверхности воды; известно также давление на эту стенку и длина перпендикуляра, опущенного из какой-либо точки верхней стороны на уровень, проходящий через нижнюю сторону. Определить длину перпендикуляра, опущенного из той же точки на противоположную сторону.



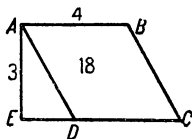
Фиг. 45.

Пример I. Дан прямоугольник $ABCD$, перпендикулярный к горизонту; давление на него равно весу 18 куб. фут. воды; верхняя сторона его AB , лежащая на поверхности воды, имеет 4 фута длины.

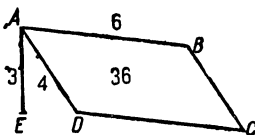
Требуется определить длину AD .

ДЕЙСТВИЕ

Делю 18 на 2, т. е. половину AB — 4; получаю 9; квадратный корень из этого числа дает 3 фута как длину AD .



Фиг. 46.



Фиг. 47.

Пример II. Дан параллелограмм $ABCD$, перпендикулярный к горизонту; давление на него равно весу 18 куб. фут. воды; верхняя сторона его AB , лежащая на поверхности воды, равна 4 фут. Требуется определить длину AE .

ДЕЙСТВИЕ

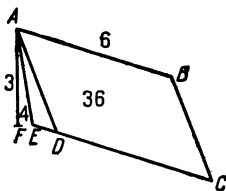
Делю 18 на 2, т. е. половину AB — 4; получаю 9; извлекаю квадратный корень и получаю 3 фута как длину AE .

Пример III. Дан прямоугольник $ABCD$, наклонный к горизонту; давление на него равно весу 36 куб. фут. воды; верхняя сторона его AB , лежащая на поверхности воды, равна 6 фут., а перпендикуляр AE — 3 фут.

Требуется определить длину AD .

ДЕЙСТВИЕ

Делю 36 на 3, т. е. половину AB ; получаю 12; делю это число на AE — 3 и получаю 4 фута как длину AD .



Фиг. 48.

Пример IV. Дан параллелограмм $ABCD$, наклонный к горизонту; давление на него равно весу 36 куб. фут. воды; верхняя сторона его AB , лежащая на поверхности воды, имеет 6 фут. длины, а линия

AF' , перпендикулярная к уровню, проходящему через нижнюю сторону, — 3 фут.; линия AE пусть будет перпендикуляром, опущенным из точки A на линию CD .

Требуется определить длину AE .

ДЕЙСТВИЕ

Делю 36 на 3, т. е. половину AB — 6; получаю 12; снова делю на AF — 3; получаю 4 фута как длину AE . Таким образом, задача решена.

Заключение. Итак, если дана стенка, находящаяся под водою, и т. д.

СЛЕДСТВИЕ I

Отсюда видно, как можно определить длину перпендикуляра, соединяющего верхнюю сторону с нижней, когда эта верхняя сторона лежит ниже поверхности воды. В самом деле, если от веса всей воды, давящей на стенку, отнять вес столба, имеющего основанием ту же стенку, а высотой — перпендикуляр, опущенный из какой-либо точки верхней стороны на поверхность воды, то останется вес воды, который давит на стенку, когда верхняя сторона ее лежит на поверхности воды; отсюда искомая длина перпендикуляра найдется изложенным выше способом.

СЛЕДСТВИЕ II

Если провести на стенке линию, параллельную верхней стороне, так, чтобы она отсекала часть стенки, то, зная давление на эту часть, можно будет определить и длину линии, перпендикулярной к верхней и нижней стороне этой части стенки. Проведем, например, на фигуре изложенного выше четвертого примера линию GH , параллельную AB и пересекающую AD в точке I , и пусть давление на $ABHI$

равно весу 24 куб. фут. воды. Делю 24 на 3; т. е. половину AB — 6; получаю 8. Теперь отыскиваю два числа, которые относились бы между собою как AF и AE , т. е. как 3 и 4, и при перемножении давали бы 8; такими числами являются $\sqrt{6}$ и $\sqrt{10^2/3}$, причем последняя величина выражает AG . Действительно, если провести через точку G прямую GN , параллельную AB , то давление на $ABHI$ будет равно весу 24 куб. фут. воды согласно предложению XV.

ЗАМЕЧАНИЕ

Теперь нам надлежит перейти к определению центра давления воды на стенку, как об этом было уже упомянуто во введении. Изложение казалось бы уместным начать с определения центра давления на дно; однако, в этом нет надобности, так как в этом случае центр давления совпадает с центром тяжести, и подобного рода задачи весьма легко решаются методом, изложенным в книге II «Элементов статики». Поэтому мы начнем сразу со стенок, не параллельных горизонту.

ТЕОРЕМА XII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVIII

Если стенка, находящаяся под водою, представляет собою параллелограм, верхняя сторона которого лежит на поверхности воды, и середина верхней стороны соединена прямой линией с серединой противоположной стороны, то центр давления воды делит эту длину на две части так, что отношение верхней части к нижней равно отношению двух к единице.

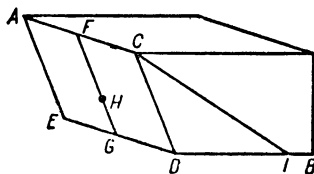
Пример I. Пусть AB — вода и $ACDE$ — стенка,

находящаяся под водою и представляющая собою параллелограм, верхняя сторона которого AC лежит на поверхности воды. Пусть, далее, FH равна удвоенной длине HG , если FG соединяет середину верхней стороны с серединой противоположной стороны.

Требуется доказать, что H есть центр давления. воды на указанную стенку.

ПОСТРОЕНИЕ

Проведем CI так, чтобы DI равнялось DC и $ACIDE$ представляло собою половину столба воды, имеющего основанием $ACDE$ и высотой — перпендикуляр из точки A на уровень, проходящий через ED . Построим затем тело $KLMNOP$, подобное и равное по весу телу $ACIDE$, так, чтобы $KLMN$ соответствовало $ACDE$, линия MO , пер-



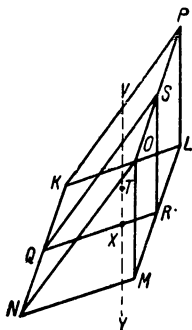
Фиг. 49.

пендикулярная к горизонту, соответствовала DI , а QR — линии FG ; проведем, далее, через точку S — середину OP — линии SQ и SR , и пусть T — центр тяжести треугольника QSR , через который проходит линия VX , перпендикулярная к горизонту.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Давление, оказываемое телом $KLMNOP$ на дно $KLMN$, равно давлению воды на стенку $ACDE$ согласно предложению XI ; поэтому центр давления

занимает на стенке $ACDE$ то же положение, какое он занимает на дне $KLMN$. Но точка T является центром тяжести не только треугольника QSR , но и тела $KLMNOP$ согласно предложению XV книги II «Элементов статики», линия же VX перпендикулярна к горизонту и проходит через T . Поэтому,



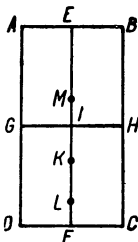
Фиг. 50.

если продолжить ее вниз, то тело $KLMNOP$, опертое в точке X линии VY , сохранит свое положение. Таким образом точка X будет центром давления тела на дно $KLMN$. Но так как линия VX , перпендикулярная к горизонту и проходящая через центр T , параллельна SR , то она разделит QR (согласно предложению II книги II «Элементов статики») таким образом, что QX будет

вдвое больше XR . Выше мы указали, однако, что положение центра давления на стенке $ACDE$ соответствует его положению на дне $KLMN$. Поэтому точка H , делящая линию FG таким образом, что верхний отрезок ее вдвое больше нижнего, будет центром давления воды на стенку $ACDE$, что и требовалось доказать ⁸.

Пример II. Подобно тому, как было сделано в четвертом примере предложения XI, мы и здесь дополним приведенное выше математическое доказательство арифметическим.

Пусть $ABCD$ — стенка и EF — прямая, соединяющая середины противоположных ее сторон; разделим стенку, а вместе с тем и указанную прямую, на две равные части (которые мы будем именовать «мерами») прямой GH , параллельной AB и пересекающей EF в I . Пусть, далее, точка K , относительно которой мы должны доказать, что она является центром давления, делит EF на два таких отрезка, что EK вдвое больше KF . Примем, что давление воды на $ABHG$ равно 1 фун.; тогда давление на $GHCD$ будет равно 3 фун. Установив это, предполагаю первоначально, что центр давления на $ABHG$ находится в E и на $GHCD$ — в F (в действительности они находятся выше).



Фиг. 51.

Тогда IF будет рычагом, плечи которого относятся как грузы, т. е. как 3 : 1, и точка L располагается таким образом, что FL составляет $\frac{1}{4}$ меры (т. е. линии IF). Затем я предполагаю, что центр давления на $ABHG$ лежит в E и на $GHCD$ — в F (в действительности они находятся ниже); их общий центр будет лежать выше I , где-либо в точке M . Очевидно, что истинный центр давления будет лежать между M и L . Но подобно тому, как мы разделили стенку на две части, мы можем поделить ее и на произвольно большое число частей, для которых найдем, как и выше, два центра давления, между коими лежит истинный центр. При этом точка L всегда будет

лежать ниже, а точка M выше точки K , постепенно приближаясь к последней, но никогда ее не достигая. Отсюда заключаем, что K есть истинный центр давления. Но так как представляется затруднительным найти центр давления всех стенок, то мы дадим более краткий способ, исходящий из прогрессии 1, 3, 5, 7, 9 и т. д., так как эта прогрессия выражает давление на отдельные равные части стенки $ABCD$, согласно предложению XV. Написав эту прогрессию, проставляю над вторым членом ее $\frac{1}{4}$ (каковая величина была найдена выше для FL):

$$\frac{1}{4}$$

1. 3. 5. 7. 9. 11.

Затем складываю 4 (знаменателя дроби $\frac{1}{4}$) с 5 — величиной третьего члена прогрессии; получаю 9 и принимаю эту цифру за знаменателя новой дроби, числителем которой является сумма цифр 4 и 1 (дроби $\frac{1}{4}$), т. е. 5. Эту новую дробь проставляю над третьим членом, как показано ниже:

$$\frac{1}{4} \quad \frac{5}{9}$$

1. 3. 5. 7. 9. 11.

Тем же способом нахожу и следующие дроби:

$$\frac{1}{4} \quad \frac{5}{9} \quad \frac{14}{16} \quad \frac{30}{25} \quad \frac{55}{36}$$

1. 3. 5. 7. 9. 11.

Если после этого мы пожелаем узнать, где будет находиться точка L , когда стенка разделена, например, на пять равных частей, то нам надо будет взять дробь, стоящую над пятым по порядку членом прогрессии, т. е. 9-ю; это будет $\frac{30}{25}$ или $\frac{6}{5}$; значит, LF будет равна $\frac{6}{5}$ меры, если стенка разделена на пять равных частей ⁹. То, что указанный отрезок всегда меньше $\frac{1}{3} EF$, и что точка L , лежащая ниже K , стремится с нею сблизиться, доказывается следующим образом.

Найденные $\frac{6}{5}$ меры составляют $\frac{6}{5}$ от $\frac{1}{5}$ линии EF , т. е. $\frac{6}{25}$ ее; эти $\frac{6}{25}$ менее FK , равной $\frac{1}{3} EF$, на $\frac{7}{75}$ линии EF ; именно на эту величину точка L и удалена от K ; чтобы найти положение точки M , прилагаю 1 меру к $\frac{6}{5}$, получаю $\frac{11}{5}$ меры или $\frac{11}{25}$ линии EF , каковые $\frac{11}{25}$ меньше $\frac{1}{3}$ на $\frac{8}{75}$ линии EF ; именно на эту величину точка M удалена от K ; это расстояние на $\frac{1}{75} EF$ больше расстояния KL . Если продолжить то же рассуждение далее, то найдем, что в случае деления стенки $ABCD$ на 40 частей длина линии FL составит $\frac{20\ 550}{1600}$ меры, равной $\frac{1}{40} EF$, т. е. что пределы значительно сблизятся,

однако, никогда не достигая K . Что касается обоснования изложенного способа определения центров давления на части, то оно будет совершенно понятно тому, кто обратится к предложению II книги I «Элементов статики»¹⁰.

Заключение. Итак, если стенка и т. д.

ТЕОРЕМА XIII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIX

Если стенка, находящаяся под водою, представляет собою параллелограм, верхняя сторона которого лежит ниже поверхности воды, то центр давления воды на стенку лежит на линии, соединяющей середину верхней и нижней стороны стенки, между следующими двумя точками ее, — центром стенки и точкой, отсекающей снизу треть указанной линии; при этом он делит отрезок между двумя упомянутыми точками на две части таким образом, что отношение нижней части к верхней равно отношению длины перпендикуляра между поверхностью воды и верхней стороной к половине длины перпендикуляра между той же стороной и уровнем, проходящим через нижнюю сторону.

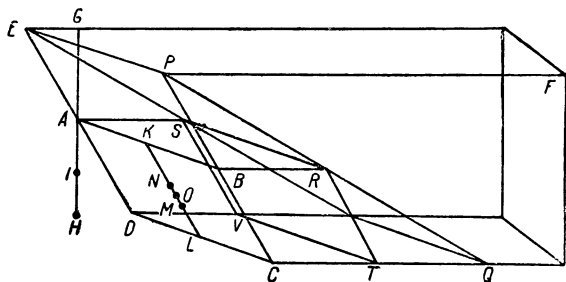
Дана стенка $ABCD$, имеющая форму параллелограмма и находящаяся под водою; пусть верхняя сторона ее AB лежит ниже поверхности воды G на расстоянии AG , линия AI равна половине перпендикуляра AN , основание которого N лежит на уровне, проходящем через DC , и линия KL делит

пополам противоположные стороны стенки; пусть, далее, центр стенки лежит в точке N , отрезок LM составляет треть линии KL , так что отрезок KM равен удвоенному отрезку ML , и точка O делит MN на две части таким образом, что отношение MO к ON равно отношению GA к AI .

Требуется доказать, что O есть центр давления воды на стенку $ABCD$.

ПОСТРОЕНИЕ

Продолжим стороны CB и DA до пересечения с поверхностью воды в P и E ; отложим отрезок CQ ,



Фиг. 52.

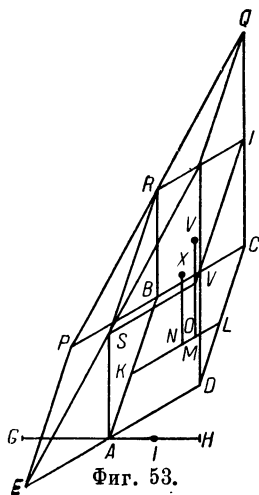
равный CP , на линии, перпендикулярной к CD и лежащей в уровне, проходящем через ту же линию; затем проведем линию BR , параллельную CQ , до пересечения с линией PQ в точке R , линию AS , равную и параллельную BR , и линии RT и SV , равные и параллельные BC .

После этого построим другое тело, подобное

первому и равное ему по весу, но расположенное таким образом, что линия CQ перпендикулярна к горизонту. Пусть X —центр тяжести тела $ABCDRSVT$ и Y —центр тяжести тела $RSVTQ$; проведем линии XN и YM .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Так как X на фиг. 53 есть центр тяжести столба AT , а N —центр тяжести стенки $ABCD$, линия



Фиг. 53.

же XN перпендикулярна к горизонту как параллельная таковой же линии CQ , то точка N будет центром давления указанного столба воды на стенку. Далее, точка M является, в соответствии с предложением XVIII, центром давления тела $QRSVT$. Поэтому MN будет рычагом, разделенным точкою O на два плеча MO и NO , относящихся между собою, как GA к AI . В самом деле, отношение MO к ON равно

отношению объема столба $ABCDRSVT$ к объему тела $SRTVQ$, а отношение указанных объемов равно отношению GA к AI . Таким образом точка O является центром давления для случая фиг. 53; но так как последняя во всем сходна с фиг. 52, то на основании вышеизложенных сообра-

жений заключаем, что точка O будет центром давления и для случая первой фигуры.

Заключение. Итак, если стенка, находящаяся под водою, и т. д.

ЗАДАЧА VII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XX

Дана стенка, имеющая форму плоского многоугольника. Определить центр давления на нее воды.

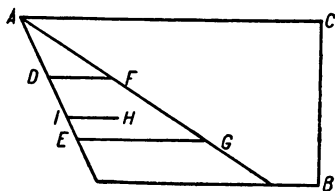
Дана стенка DE , имеющая форму плоского многоугольника и находящаяся в воде AB ниже поверхности ее AC .

Требуется определить центр давления на нее воды.

ПОСТРОЕНИЕ

Находим прежде всего объем столба жидкости, вес которого равен давлению на стенку; согласно предложению XIII таковым будет $DEGF$. Центр тяжести этого тела найдется в соответствии с предложением XXI книги II «Элементов статики»; пусть им будет точка H . Проведя линию HI , параллельную GE , утверждаю, что I будет искомым центром давления; доказательство этого положения аналогично доказательству предыдущих XVIII и XIX предложений¹¹.

Заключение. Итак, если дана стенка и т. д.



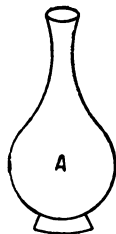
Фиг. 54.

ЗАДАЧА VIII. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XXI

Дан вес жидкости, объем же ее неизвестен. Определить этот объем по весу жидкости.

ЗАМЕЧАНИЕ

Объем жидкости можно было бы определить геометрическим путем, как это обычно и делается. Однако, если этот объем невелик, то более удобно и надежно решать задачу по правилам статики, особенно в случае сосудов неправильной формы.



г иг. 55.

Дана вода A , имеющая любую форму. Объем ее неизвестен, тяжесть же ее, в смысле первого определения, известна. Принимаю, что 1 куб. фут воды весит 65 фун.

Требуется определить объем воды по ее собственному весу.

ДЕЙСТВИЕ

Взвесим воду, каковой окажется, допустим, 5 фун.; делю это число на 65 фун. и получаю $\frac{1}{13}$ куб. фута, как искомую величину A .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Так как вода A весит 5 фун., а 1 куб. фут той же воды весит 65 фун., то отношение 5 : 65 будет равно отношению объема воды к объему в 1 куб. фут; но отношение 5 : 65 равно отношению $\frac{1}{13} : 1$; поэтому $\frac{1}{13}$ куб. фут будет искомой величиной A .

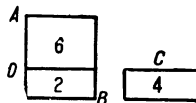
Заключение. Итак, если дан вес жидкости и т. д.

ЗАДАЧА IX. ПРЕДЛОЖЕНИЕ XXII.

Дано отношение объемов двух тел, отношение их весов при равных объемах и собственный вес одного из тел. Найти собственный вес другого тела.

Пусть AB — одно из тел и C — другое. Отношение их объемов пусть будет равно $3 : 1$, а отношение их весов при равных объемах — $1 : 2$; вес тела AB пусть будет 6 фун.

Найти вес тела C .



Фиг. 56.

ДЕЙСТВИЕ

Отделяю DB , равное C , и нахожу, что DB весит 2 фун. (как $\frac{1}{3}$ AB). Но вес DB относится к весу C , как $1 : 2$. Поэтому C весит 4 фун., что и требовалось найти.

Заключение. Итак, если дано отношение и т. д.

СЛЕДСТВИЕ

Из предыдущего вытекают следующие соотношения:

$$\begin{array}{lcl} \text{ингредиенты} & \left\{ \begin{array}{l} \text{отношение объемов;} \\ \text{отношение весов материи} \\ \text{при равных объемах;} \end{array} \right. & \\ \text{результат} & \left\{ \begin{array}{l} \text{отношение весов.} \end{array} \right. & \end{array}$$

Ясно, что если одна из этих трех величин неизвестна, то путем умножения и деления ее можно определить, согласно предыдущему правилу, по двум другим величинам. Поясним это на примере.

<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">A</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">B</div>	Отношения:
6 фун.	$4\frac{1}{5}$ фун.	вес
5 куб. футов	2 куб. фута	объем
4	7	отношение весов при равных объемах

Фиг. 57.

Пусть A весит 6 фун. при объеме в 5 куб. фут.; объем B равен 2 куб. фут.; отношение веса материи A и B при равных объемах равно 4:7. Чтобы найти неизвестный вес B по данному его объему и отношению веса его материи, надо перемножить отношения, как это ясно из предыдущего.

Таким образом, умножая отношение $\frac{5}{2}$ на отношение $\frac{4}{7}$, получаем отношение $\frac{10}{7}$; как 10 к 7, так и 6 фун. к искомому весу B ; последний равен, следовательно, $4\frac{1}{5}$ фун.

Если неизвестен только объем B , то мы определим его при помощи также двух отношений, из которых первым является $\frac{4}{7}$, т. е. соотношение весов материи при равных объемах, и на которое (согласно правилу, изложенному в начале следствия) мы должны разделить отношение весов, т. е. $6:4\frac{1}{5}$ или 10:7; это последнее отношение 10:7, деленное на первое 4:7, дает нам отношение объемов A и B ,

равное $\frac{5}{2}$; если, поэтому, A весит 5 фун., то B весит только 2 фун.

Если, наконец, неизвестно только соотношение весов материи, то необходимо разделить отношение собственных весов, т. е. $\frac{10}{7}$, на отношение объемов, т. е. $\frac{5}{2}$; получится $\frac{4}{7}$ как соотношение весов материи A и B . — Вот три случая, которые только и могут встретиться.

Изложенное предложение справедливо в отношении любого однородного вещества; однако, наиболее часто оно применяется, как нам кажется, в отношении воды.

КОНЕЦ

«НАЧАЛ ГИДРОСТАТИКИ»

НАЧАЛА ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ ГИДРОСТАТИКИ

ЧИТАТЕЛЮ

Казалось бы вполне уместным, чтобы практические применения гидростатики следовали за началами последней; однако, по ряду соображений мы считаем более правильным, чтобы таковые были не описаны, а сперва проделаны в действительности. Тем не менее, мы приводим здесь три предложения, которые непосредственно вытекают из предшествующих и которые мы называем началами практических применений, поскольку по своей малочисленности они не заслуживают еще названия практических применений. Прими их благосклонно, дорогой читатель, и ожидай остального в свое время.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ I

Определить, насколько тело, которое легче воды, погрузится более в одной воде, чем в другой, более тяжелой.

Пусть, например, мы хотим знать насколько больше одно и то же судно погружается в реку Рейн около Лейдена, чем в море против Гарвича. Для этого надо знать отношение веса пресной и соленой воды, взятой в равном объеме. Это отношение равно $42:43$, как я это действительно и определил в июле месяце; взяв равные объемы воды, я нашел, что рейнская вода весит 4260 гранов, а морская — 4362 грана, так что отношение весов близко к отношению $42:43$.

Поэтому можно утверждать, что погруженная часть судна при плавании его в Рейне будет относиться к той же части в море, как $43:42$; отсюда геометр легко определит, насколько глубже оно погружается в одну воду по сравнению с другой. Правило это основано на предложении VII «Начал гидростатики».

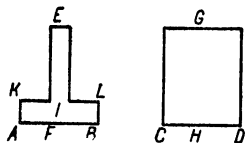
ПРЕДЛОЖЕНИЕ II

Пояснить на практических примерах содержание предложения X «Начал гидростатики».

Мы доказали в следствии V предложения X, что давление на дно остается одинаковым независимо от того, нагружено ли оно большим или малым количеством воды (если только высота последней остается одинаковой). Но так как некоторые находят это противоречащим природе, то мы приведем здесь практический пример (поскольку математическое доказательство было уже нами дано),

который подтвердит и позволит лучше понять это явление.

Пример 1. Пусть дно AB равно дну CD и высота EF равна высоте GH ; пусть, далее, количество воды в EIF меньше, чем в GCD , так что если вода EAB весит, например, 1 фун., то вода GCD будет весить 10 фун. Таким образом круглый столб GCD будет содержать воды в 10 раз больше, и весить также в 10 раз больше, чем вода EAB , и тем не менее давление воды EAB на дно AB будет равно давлению воды GCD на дно CD , что может быть доказано следующим опытом.

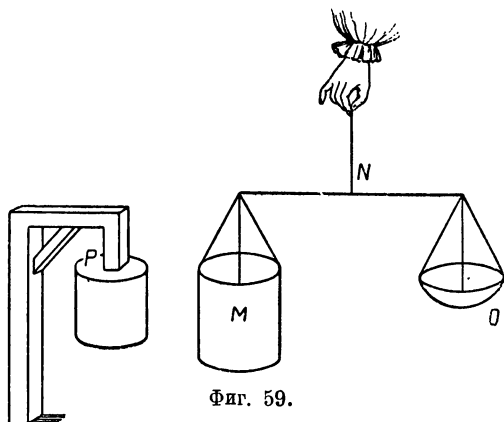


Фиг. 58.

Пусть MNO весы с чашками M и O , причем M имеет ту же форму, что и сосуд GCD , и содержит 10 фун. воды. Пусть,

далее, P — деревянное тело, прочное и неподвижное, как изображено на рисунке, и имеющее ту же форму, что и сосуд M , в который оно может свободно входить.

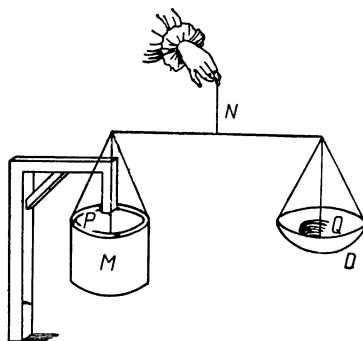
Поместим теперь P в опорожненный сосуд M , как на фиг. 60, а на чашку O положим груз Q в 10 фун. Сосуд M будет при этом давить снизу на P , передавая вес груза Q . Предположим теперь, что пустое пространство между P и M может быть заполнено 1 фунт воды, т. е. количеством ее, равным телу EAB . Опыт показывает, что по мере заполнения пустого пространства этим фунтом воды чашка M будет



Фиг. 59.

опускаться, а чашка *Q* подниматься, как это и должно быть по причине, изложенной в указанном предложении X.

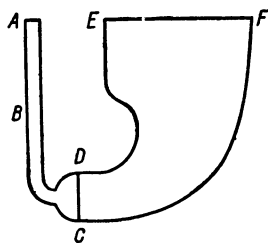
Один фунт воды в чашке *M* приобретает, таким образом, силу 10 фун. железа, меди или какого угодно другого вещества. Подобным же образом 1 фунт воды может приобрести такую же силу, как 1000 фун. любого другого груза. Проис-



Фиг. 60.

ходит это потому, что между чашкой *M* и основанием тела *P* находится вода, на которую дно *M* давит с

такой же силой, с какою оно давило ранее на основание тела P , когда воды не было, т. е. в 10 фун., в соответствии с весом Q . Таким образом дно M давит на воду с той силой, какую могут развить 10 фун. груза Q , и, обратно, вода давит на дно M с той же силой, какую могут развить 10 фун. груза Q . Предположим теперь, что вода, покоящаяся на дне M , равна по объему $KLBA$, остальная же часть ее, окружающая P , равна воде IE ; тогда вода EAB будет давить на дно AB совершенно так же, как соответствующая вода на дно M , т. е. с силой 10 фун. Но с точно такой же силой давит и вода GCD на дно CD . Отсюда следует, что давление воды, содержащейся в сосудах AEB и GCD , на дно AB и на дно CD совершенно одинаково, хотя в первом



Фиг. 61.

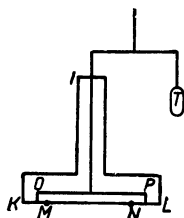
ее содержится всего 1 фунт, а во втором — 10 фун. Отсюда ясно, что вес воды в 1 фунт может оказать давление и в 1000 фун. и более.

Пример II. Пусть $ABCD$ — узкий канал и $CDEF$ — большой сосуд, отделенный

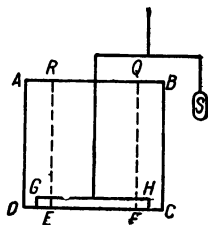
от малого канала стенкой CD , и пусть оба сосуда наполнены водою таким образом, что уровень воды в обоих сосудах лежит в одной и той же плоскости. Удалим теперь стенку CD . Если бы вода $CDEF$ развивала давление большее, чем вода ADC , то

более слабое уступило бы место более сильному, и вода ADC вышла бы из своего уровня. Это, однако, противоречит опыту. Следовательно, малое количество воды ADC оказывает на стенку DC такое же давление, как и большое количество воды $CDEF$.

Пример III. Пусть $ABCD$ — сосуд, наполненный водою, в дне которого CD сделано отверстие EF , перекрытое пластинкой GH из дерева, которое легче воды. Пусть, далее, IKL — другой сосуд той



Фиг. 62.



Фиг. 63.

же высоты, как и первый, и имеющий в дне отверстие той же величины, перекрытое деревянной пластинкой, подобной и равновесомой первой.

Опыт показывает, что обе пластинки будут испытывать одинаковое давление и не поднимутся, как это обычно происходит с деревом, погруженным в воду. Равенство давления, прижимающего пластинки ко дну, доказывается на опыте равенством грузов T и S , уравновешивающих воду, давящую на пластинки, в частности GH , испытывающую давление столба воды $EQRFF$.

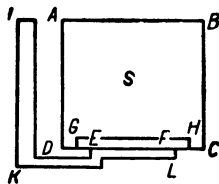
ЗАМЕЧАНИЕ

Очевидно, что если бы разность между весом пластинки подобной GH , и весом воды в том же объеме превышала вес столба воды $EFQR$, то такая пластинка не могла бы покоиться пад отверстием EF и поднялась бы над водою.

С другой стороны, если бы пластинка была значительно тяжелее воды и была бы сделана, например, из свинца, железа и т. п., то она давила бы на дно с силой большей, чем вес столба воды $EFQR$ на разность между собственным весом этой пластинки и весом ее в воде.

Если же эта пластинка сделана из вещества, равного воде по весу, то ясно, что давление ее на EF равняется в точности весу столба воды $EFQR$.

Пример IV. Пусть $ABCD$ — сосуд, наполненный водою и имеющий отверстие EF в дне CD , на котором покоится пластинка более легкая, чем вода, прижатая ко дну с указанной выше силой. Пусть, далее, IKL — малый канал, верхнее отверстие которого I лежит на уровне AB и нижним отверстием которого является EF . Если мы наполним этот канал IKL водою, то малое количество ее будет давить на пластинку снизу так же, как большое количество воды давит на нее сверху, и

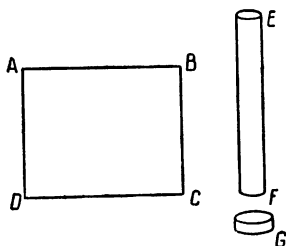


Фиг. 64.

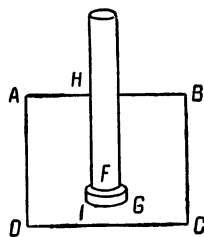
пластинка GH поднимется в этом случае вверх. Таким образом 1 фунт воды (если предположить, что канал IKL содержит именно такое количество воды) сможет оказать давление на пластинку GH большее, чем 100 000 фун. воды S . Это можно было бы счесть

за чудо, если бы причина этого явления не была известна.

Пример V. Чтобы дать наглядный пример давления воды на дно, подобное описанному в следствии



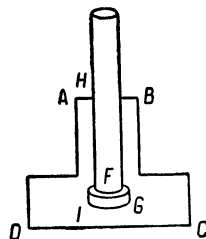
Фиг. 65.



Фиг. 66.

III предложения X, предположим, что $ABCD$ — вода, EF — канал и G — пластинка из вещества, которое тяжелее воды, например из свинца.

Перекрыв отверстие F пластинкой G , которая должна плотно прилегать, опустим трубку вместе с пластинкой в воду $ABCD$ до уровня H . При этом пластинка G не упадет на дно, как это обычно бывает со свинцом, но останется подвешенной в воде у отверстия трубки, будучи прижатой к ней давлением веса столба воды, имеющего основание, равное отверстию F , и высоту HI , уменьшенным на разность между соб-



Фиг. 67.

ственным весом пластинки и весом равного ей объема воды. Если, однако, пластинка прилегает к отверстию неплотно, то вода войдет внутрь канала, и пластинка останется подвешенной только до того момента, пока проникающая вода не достигнет указанного веса.

Если кто-либо думает, что пластинка остается лучше подвешенной к трубке в большом количестве воды, то он может убедиться, что явление протекает совершенно так же и в ограниченном количестве воды, как это показано на прилагаемом рисунке.

Заключение. Итак, мы пояснили на практических примерах указанное предложение X.

ЗАМЕЧАНИЕ

Что касается предложения XI, при помощи которого можно, между прочим, определить давление воды на ворота шлюзов, а равно и объяснить, почему вода, находящаяся по одну сторону стены, может при ничтожной своей ширине уравновесить давление целого океана на другую ее сторону, если только уровни воды одинаковы, то оно достаточно ясно, и на нем можно не останавливаться.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ III

Объяснить, почему человек, находящийся глубоко под водой, не умирает, несмотря на большое количество воды, расположенной над ним.

Пусть человек находится на глубине 20 фут. под водой, и пусть поверхность его тела составляет

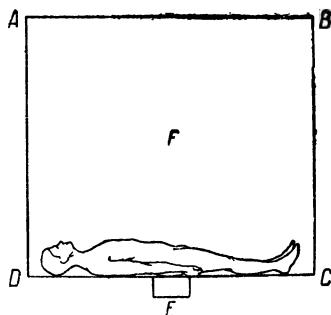
10 кв. фут. Так как 1 куб. фут воды весит 65 фун., то тело этого человека должно испытывать давление в 13 000 фун. согласно предложениям X и XII «Начал гидростатики». Поэтому уместно спросить, как это возможно, чтобы человек не был раздавлен столь большим грузом. Ответ на это таков:

всякое давление, ра-
нящее тело, сдвигает
некоторую часть тела
с его естественного
места;

давление, произво-
димое водою, не сдви-
гает ни одной части
тела с его естествен-
ного места;

поэтому давление,
производимое водою, нисколько не ранит тела.

Указанное явление, подтверждаемое опытом, объ-
ясняется следующим образом. Для того чтобы какая-
либо часть была сдвинута давлением со своего ме-
ста, необходимо, чтобы для нее нашлось какое-ни-
будь другое место; но такового не может найтись
снаружи, ибо вода давит со всех сторон одинаково
(в действительности давление в нижних частях будет
немного больше в соответствии с предложением XI
«Начал гидростатики»; однако от этого обстоятель-
ства вполне допустимо отвлечься, тем более, что
столь небольшая разность не может сдвинуть ни



Фиг. 68.

одной части с ее естественного места); не найдется его и внутри тела, так как там нет пустоты. Таким образом все части взаимно и одинаково давят друг на друга, так же как и вода, окружающая тело. А раз такого места не находится ни вне, ни внутри тела, то ни одна часть его не будет сдвинута с своего места, и тело не будет поранено.

Чтобы пояснить это более наглядно, предположим, что мы имеем сосуд с водою $ABCD$, на дне которого лежит на спине человек F , и пусть в этом дне DC сделано отверстие, закрытое пробкой E . Так как вода оказывает при этом давление на тело со всех сторон, то никакая часть его не сдвигается со своего места.

Чтобы убедиться на опыте в справедливости этого положения, достаточно вынуть пробку E ; тогда часть тела, расположенная над отверстием E , не будет испытывать того давления, которому подвержены все другие его части. Поэтому она будет вдавлена в отверстие с усилием, определяемым согласно третьему примеру приведенного выше предложения II и равным весу столба воды, имеющего основанием отверстие E и высотой линию AD , что вполне объясняет описанное явление.

КОНЕЦ

«НАЧАЛ ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ ГИДРОСТАТИКИ»

О ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛАХ, ВЕРШИНА КОИХ НАГРУЖЕНА ¹²

Когда было предложено устраивать на небольших судах платформы, возвышающиеся приблизительно на 20 фут., чтобы помещать на них солдат, то возникло сомнение, выдержит ли вершина плавающего тела эту нагрузку, и не опрокинется ли судно. Чтобы выяснить это обстоятельство, над одним из судов было проделано испытание. Это дало мне повод исследовать, нельзя ли прежде чем переходить к экспериментам в большом масштабе, осветить вопрос путем математических исчислений, касающихся формы и веса, и отсюда уже подходить к практическим решениям. В этих целях мы помещаем ниже теорему, относящуюся лишь к судам и вообще телам, вершина которых нагружена и которые плавают в воде; если те же тела находятся на суше, то указанная теорема на них не распространяется, и они пребывают в равновесии, если основание перпендикуляра, опущенного из центра тяжести их на плоскость основания, лежит внутри периметра последнего.

ТЕОРЕМА

Тело, плавающее в воде, занимает такое положение, при котором центр тяжести его лежит на вертикальной линии, проходящей через центр тяжести занимаемого им объема воды.

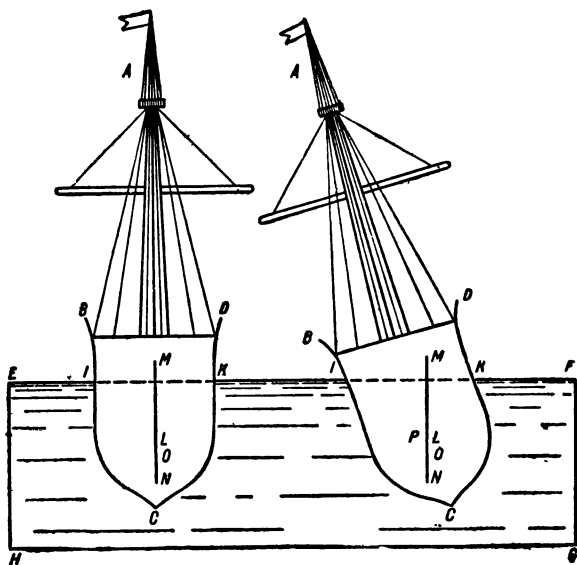
Дано тело $ABCD$, плавающее в воде, поверхностью которой является EF , и погруженное в нее до уровня IK ; пусть ICK будет соответствующий объем воды, L — его центр тяжести, MLN — вертикальная линия, проходящая через этот центр, и O — центр тяжести тела $ABCD$.

Требуется доказать, что O , т. е. центр тяжести тела $ABCD$, лежит на вертикальной линии MN , проходящей через центр тяжести L объема воды ICK .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО

Удалим тело $ABCD$, но сохраним положение объема ICK и представим себе, что ICK является формой в смысле определения VII гидростатики. Если наполнить эту форму водою, то последняя согласно предложению I гидростатики должна сохранять в окружающей воде данное положение; следовательно, его сохранит и форма. Но она нагружена водою совершенно так же, как ранее была нагружена одинаково расположенным телом $ABCD$. Центр тяжести воды в форме будет при этом очевидно совпадать с центром тяжести ранее указанного объема воды ICK и лежать в точке L . Поэтому и центр тяжести тела $ABCD$ должен лежать на вертикальной линии MN , проходящей через центр тяжести ука-

занной формы. В самом деле, если он располагается вне этой линии, например в точке P , то это возможно лишь при условии, что изменяется и форма ICK . Действительно, если он занимает указанное



Фиг. 69.

положение, тогда как ранее мы предположили его расположенным в точке O , то это значит, что тело изменило положение, центр тяжести его переместился в P , часть B понизилась, а D —повысилась, и точка C переместилась по направлению к K ; но это противоречит гипотезе и дает другую форму, а не ту,

которую мы рассматривали первоначально. Поэтому центр тяжести тела $ABCD$ должен обязательно лежать на линии MN выше, ниже или совпадая с центром тяжести L объема воды ICK .

Заключение. Итак, тело, плавающее в воде, занимает такое положение, при котором центр тяжести его лежит на вертикальной линии, проходящей через центр тяжести занимаемого им объема воды, что и требовалось доказать.

СЛЕДСТВИЕ I

Отсюда следует, что когда вершина тела нагружена, и центр тяжести его лежит выше центра тяжести соответствующего объема воды, то тело опрокидывается (если только его ничто не удерживает) и занимает такое положение, при котором его центр тяжести располагается на вертикальной линии, проходящей через центр тяжести соответствующего объема воды, ниже последнего. Например, если мы перевернем плавающий в воде искривленный брус таким образом, чтобы верхняя поверхность его стала нижней, то он не удержится в этом положении, перевернется и займет прежнее положение, при котором центр тяжести его будет находиться ниже центра тяжести соответствующего объема воды и на одной с ним вертикальной линии.

СЛЕДСТВИЕ II

Очевидно, что при помещении на судно какого-либо груза или перемещении последнего внутри судна из-

меняется и форма вытесняемого объема воды, и положение центра тяжести последнего.

СЛЕДСТВИЕ III

Также очевидно, что помещение груза ниже горизонтальной плоскости, проходящей через центр тяжести соответствующего объема воды, придает судну большую устойчивость, тогда как помещение груза выше той же плоскости, нагружая вершину судна, делает его менее устойчивым.

ЗАМЕЧАНИЕ

Если бы отыскание центров тяжести судна и соответствующего объема воды представляло собою достаточно легкую задачу, то путем математических построений можно было бы установить до производства опытов, какое положение займет лодка или судно в воде, будут ли они держаться на воде прямо или наклонно, перельется ли вода через борт их или нет, как это требовалось установить в настоящем трактате. Но так как отыскание общего центра тяжести различных тел, заключенных в одном судне, весьма трудно, то едва ли указанным способом можно пользоваться в подобных случаях, и он приводится только для объяснения причины и характера явления. Таким образом он служит другим целям, нежели описанные выше, если только кто-либо не захочет взять на себя труд найти указанные центры тяжести и использовать данное предложение и для тех целей, которые были изложены выше.



ПРИМЕЧАНИЯ К „НАЧАЛАМ ГИДРОСТАТИКИ“ СТЭВИНА

1. Работы Стэвина в области статики были опубликованы впервые в 1586 г. в виде книги, состоящей из трех разделов; каждый из них имеет свою нумерацию страниц и снабжен особой титульной страницей. Заглавия этих разделов таковы:

I. De Beghinselen der Weeghonst beschreven dver *Simon Stevin van Brugghe*. Tot Leyden. MDLXXXVI.

II. De Weeghdaet beschreven etc.

III. De Beghinselen des Waterwichts beschreven etc.

На титульной странице каждого раздела имеется один и тот же рисунок цепи из шаров, покоящейся на двух наклонных плоскостях.

Последний раздел этой книги, т. е. «De Beghinselen des Waterwichts» включает начала гидростатики (стр. 1—54), начала практических применений гидростатики (стр. 55—64) и общий для всех трех разделов статики «Anhang» (стр. 64—81). Теоремы о плавающих телах, вершина которых нагружена, в этом издании «Статики» Стэвина не содержится.

В 1608 г. был закончен и издан латинский пере-

вод некоторых математических сочинений Стэвина, выполненный голландским математиком Виллебрордом Снеллем или Снеллиусом (1591—1626 г.), известным своими работами в области изучения законов рефракции и методов измерения земного шара. Работа эта носит название: «*Hypomnemata mathematica. A Simone Stevino conscripta & è Belgico in Latinum à Wil. Sn. conversa. Lugduni Batavorum. Anno MDCVIII*». Перевод этот помимо статики (включая гидростатику) содержит работы Стэвина в области космографии, практической геометрии и пр.

Несколько позже математические сочинения Стэвина были переведены на французский язык Альбертом Жираром и изданы под заглавием: «*Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin de Bruges. Le tout revu, corrigé & augmenté par Albert Girard Samiellois, Mathématicien. A Leyde. Anno MDCXXXIV*» в виде одной книги in folio в 678 страниц, поделенной на шесть томов. Интересующие нас работы Стэвина в области гидростатики помещены в четвертом томе, посвященном статике, как IV и V главы ее; далее приводятся так же, как и в латинском переводе, общие пояснения Стэвина к его статике и теорема о плавающих телах, вершина коих нагружена.

Подробные библиографические указания, касающиеся работ Стэвина, читатель может найти в специальной книге: «*Notice historique sur la vie et les travaux de Simon Stevin, de Bruges, par F. V. Goethals*», Bruxelles, 1842.

Поскольку во времена Стэвина во фламандском языке не было еще точно установленной математической терминологии, ему приходилось в ряде случаев прибегать к латинским терминам, которые он и приводит как в тексте, так и на полях своей работы. Латинский перевод математических сочинений Стэвина выполнен превосходно в смысле ясности и сжатости изложения мыслей автора; однако в некоторых случаях Снелль несколько отступает от оригинального текста. Что касается французского перевода, то он выполнен весьма старательно, но грешит кое-где излишними длиннотами по сравнению с оригиналом; перевод снабжен некоторыми элементарными пояснительными замечаниями Жирара, не представляющими, однако, для нас сейчас никакого интереса.

Ввиду своеобразия фламандского языка мне пришлось при выполнении своей работы пользоваться не только оригинальным текстом гидростатики Стэвина, но и указанными переводами; при этом я все же старался передать возможно точно не только ход мыслей автора, но и свойственный ему способ их изложения.

2. Определения I—V трактуют по существу об «абсолютном» и «удельном» весе тел и могли бы быть сведены всего к двум определениям, если бы Стэвин применил эти термины. Однако в эту эпоху они еще не были общепринятыми, что и отразилось на характере изложения Стэвином некоторых даль-

нейших положений (например теоремы VI предложения VII).

Как мы увидим ниже, в своем «Трактате о плавающих телах» Галилей пользуется уже указанными терминами, однако, считает необходимым дать подробное объяснение их значения.

Определение VII весьма широко используется Стэвином и является одной из основ его трактата. Термин «*vasavat*» («*vasiforme*», *vas superficialium*), переведенный нами как «форма», является искусственным и обозначает не форму (или «фигуру») тела, а воображаемый невесомый сосуд, стенками которого являлась бы поверхность тела, если бы последнее могло быть отделено от своей поверхности и затем удалено. «Форма» мыслится Стэвину как жесткая и неизменяемая (см. постулаты IV и V).

Термин «*bodem*» («*fond*», «*fundum*») применяется Стэвином в определениях VIII и IX, а также последующих предложениях, как общий для обозначения и дна и стенок сосуда, испытывающих давление воды. В первом случае мы перевели его как «основание», в дальнейшем же переводим его как «дно» или «стенка» в зависимости от смысла предложения. Условный термин «*gheschickt bodem*» («*fond convenant*», «*regulare fundum*»), переведенный нами как «правильное» основание, дно или стенка, достаточно пояснен самим Стэвином.

3. В постулате I Стэвин дает два термина для определения веса тела в воздухе и воде («*Der licha-*

men ghewicht in de locht eyghen ghenoeemt te worden, maer in t'water naer de ghestalt»). Если первый термин может быть достаточно точно переведен как «собственный вес» тела, то второй термин, совершенно искусственный, не поддается переводу. В латинском издании текст гласит: «Ponderitatem corporum in aëre appellari propriè, in aqua autem secundum hypothesin». Во французском издании применен термин «constitution», причем в одном из своих примечаний А. Жирар указывает, что формулировка постулата I, данная в латинском переводе, является неудачной. Его формулировка такова: «La pesanteur propre d'un corps, soit celle de laquelle il est trouvé estre pesant an l'air; mais dans l'eaux, qu'elle soit dite sa constitution en icelle». Поскольку в дальнейшем тексте указанный термин применяется Стэвином довольно редко, я счел возможным воздержаться от подыскания для него какого-либо специального русского термина и, следуя примеру латинского перевода, говорю в соответствующих случаях просто о «весе тела в воде».

К вопросу о форме поверхности воды (постулаты VI и VII) Стэвин возвращается в заключительном замечании к предложению X.

4. В конце «Статики» Стэвина имеется особое «Приложение к статике, в коем излагаются между прочим разъяснения ошибочных воззрений на равновесие», разделенное на пять глав. Глава I этого приложения трактует об ошибочности объяснений

Аристотелем законов рычага, как это уже было отмечено нами выше во «Введении»; последняя же глава этого приложения такова:

ГЛАВА V, СОДЕРЖАЩАЯ ПОЯСНЕНИЯ
ПРЕДЛОЖЕНИЯ VIII «НАЧАЛ ГИДРОСТАТИКИ»

«В означенном предложении VIII было указано «что всякое твердое тело весит в воде менее, чем в воздухе, на величину веса равного ему объема воды». Отсюда кто-либо может сделать вывод, что «всякое твердое тело весит в ртути менее, чем в воде, на величину веса равного ему объема ртути» или что «всякое твердое тело весит в воде менее, чем в масле, на величину веса равного ему объема воды» и т. д., каковы неизбежные выводы могут с первого взгляда показаться противоречащими опыту. В самом деле, при обычном способе взвешивания фунт свинца окажется легче в воде чем в масле, не на величину веса равного ему объема воды, а лишь на величину разницы в весе равных ему объемов воды и масла. Однако при более внимательном рассмотрении и расположении вещей, как говорится, *ceteris paribus* все оказывается совершенно точным. В самом деле, следует помнить, что согласно постулату I «собственным весом тела является вес его в воздухе», и что согласно постулату V «форма, содержащая воду, становится пустой, когда вода из нее вылита», т. е. по смыслу определения XI,—заполненной воздухом. Поэтому, если мы заменим

двумя такими материями, как ртуть и вода, ранее сравниваемые материи — воду и воздух, т. е. ртутью — воду, а водою — воздух, то можно будет установить следующие постулаты: «собственным весом тела является вес его в воде», и «форма, содержащая ртуть, будучи опорожненной, остается заполненной водой». В этом случае предложения, изложенные вначале, остаются правильными. В самом деле, представим себе человека, достаточно глубоко погруженного в воду, для которого последняя служит тем же, чем для нас воздух, и взвешивающего золото в ртути; ясно, что для него золото будет весить в ртути меньше, чем в воде, на величину веса соответствующего объема ртути. Конечно, если бы мы приняли, что «собственным весом тела является действительный вес его в пустоте», что кажется наиболее простым, то мы могли бы утверждать, что «всякое твердое тело весит в воде менее, чем в пустоте, на величину равного ему объема воды». Однако, если мы обратим внимание на условия, в которых протекает обычное наше взвешивание (и на которых теория всегда должна обращать внимание), то мы убедимся, что последнее всегда совершается в воздухе, а не в пустоте. Поэтому правильное говорить о собственном весе тел в воздухе, как мы и установили в первом постулате. С этой точки зрения предложение VIII и следствия из него являются совершенно точными, что мы и попытались здесь объяснить».

5. Как в тексте, так и на чертежах предложения XI Стэвин применяет наряду с заглавными буквами латинского алфавита греческие буквы; в интересах наших читателей я заменил последние прописными латинскими буквами.

6. Сумма n членов натурального ряда чисел равна, как известно, $\frac{n}{2}(n+1)$; сумма $n-1$ членов того же ряда (без последнего) будет, очевидно, равна $\frac{n}{2}(n-1)$. Так как n -ый член указанного ряда равен n , то имеем неравенство:

$$\frac{n}{2}(n+1) > \frac{n^2}{2} > \frac{n}{2}(n-1),$$

на которое и указывает Стэвин.

Деля его почленно на n^2 , имеем:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2n} > \frac{1}{2} > \frac{1}{2} - \frac{1}{2n}.$$

Отсюда видно, что с увеличением n , т. е. числа частей, на которые поделена стенка, разность между $\frac{1}{2}$ и двумя другими членами неравенства уменьшается.

7. Под «шириной» параллелограмма подразумевается в данном случае его основание, а под «длиной» — его высота, как это ясно видно из последующего.

8. Привожу некоторые пояснения ссылок Стэвина на указанные им предложения книги II «Элементов статики».

Первая ссылка касается предложения, гласящего: «центр тяжести колонны находится в середине ее оси» (теорема X, предложение XV книги II «Элементов статики»). Так как точка T есть центр тяжести треугольника QSR , являющегося срединным сечением прямой треугольной призмы $MNOLKP$, то она должна одновременно быть и центром тяжести означенного тела.

Отмечаемое Стэвином свойство точки X как вертикальной проекции центра тяжести T на плоскость $KLMN$ понятно.

Вторая ссылка сделана на следующее предложение: «центр тяжести треугольника лежит на линии, соединяющей вершину одного из его углов со серединой противоположной стороны» (теорема II, предложение II книги II «Элементов статики»). Другими словами, он лежит в точке пересечения медиан данного треугольника. Последняя же точка обладает, как известно из геометрии, тем свойством, что проведенная через нее прямая, параллельная одной из сторон треугольника, делит каждую из двух других сторон на отрезки, длины которых относятся между собою как 2:1. Поэтому $QX = 2XR$.

9. Изложенное правило вытекает из следующего элементарного соображения.

Пусть стенка разделена на n равных частей, и x является «мерой» каждой части, т. е. $\frac{1}{n}$ долей длины EE . Центр давления на первые две верхних части

стенки, как мы видели выше, не может лежать ниже, чем в рассогнании $\frac{1}{4}$ «меры» от нижней стороны второй части стенки. Чтобы определить положение той же точки L для трех частей стенки, надо, очевидно, найти точку приложения равнодействующей давления на две первых части стенки и давления на третью часть стенки, предполагая, как и ранее, что это последнее давление лежит в уровне нижней стороны стенки. Но давление на две верхних части стенки равно 4 единицам и предполагается приложенным в расстоянии $\frac{1}{4}x$ от верхней стороны третьей части стенки, тогда как второе давление, лежащее в уровне нижней ее стороны, равно 5 единицам. Следовательно, искомая точка будет лежать в расстоянии $(x + \frac{1}{4}x) \cdot \frac{4}{9}$ от нижней стороны третьей части стенки, т. е. $\frac{5}{9}x$.

Для четырех частей стенки положение точки L определится как $(x + \frac{5}{9}x) \cdot \frac{9}{16} = \frac{14}{16}x$.

Для пяти частей как

$$(x + \frac{14}{16}x) \cdot \frac{16}{25} = \frac{30}{25}x \text{ и т. д.}$$

Далее, легко видеть, что точка M всегда лежит выше на одну «меру». В самом деле, если предположить для случая деления стенки на две части,

что центр давления на верхнюю половину ее находится в E , а на нижнюю — в I , то точка M будет лежать в расстоянии $\frac{1}{4}EI$ от линии GH , так что расстояние ML будет равно половине EF , т. е. одной «мере». То же будет иметь место при делении стенки на любое другое число частей.

Увеличивая n , т. е. число частей, на которые разделена стенка, и тем самым уменьшая величину «меры» x , мы сближаем пределы, между которыми лежит точка K или истинный центр давления воды на стенку.

10. Означенное предложение гласит: «найти вертикальную линию, проходящую через общий центр тяжести данных грузов» (задача I, предложение II книги I «Элементов статики»), т. е. равнодействующую двух или нескольких параллельных сил, к чему, как мы видели, и сводится доказательство изложенной выше теоремы XII.

11. Привожу положение, на которое ссылается Стэвин: «дано неправильное тело, ограниченное плоскими поверхностями; найти его центр тяжести» (задача IX, предложение XXI книги II «Элементов статики»). Для разрешения этой задачи Стэвин предлагает разделить многогранник на отдельные пирамиды таким образом, чтобы все вершины последнего лежали в одной точке внутри многогранника, грани же его являлись основанием пирамид, и последовательно находить центры тяжести сперва

отдельных пирамид, а затем совокупности каких-либо двух из них, потом указанной совокупности и третьей пирамиды и т. д.

12. Перевод настоящей дополнительной статьи к «Началам гидростатики» Стэвина выполнен с латинского и французского текстов, так как оригинального текста в моем распоряжении, к сожалению, не оказалось. Во французском переводе эта статья носит заглавие: «Des Acrobariques, ou des pesanteurs au sommet du flottant», в латинском — «De fluitantibus acrobaricis».

В общем оба эти текста совершенно совпадают по содержанию. Значение термина «l'acrobarique» ясно из последующего изложения.



СВЯТАЙШЕМУ ДОНУ КОЗИМО П,
ВЕЛИКОМУ ГЕРЦОГУ
ТОСКАНСКОМУ.

РАССУЖДЕНИЕ
О
Т Е Л А Х,
ПРЕБЫВАЮЩИХ В ВОДЕ
И
О ТЕХ, КОТОРЫЕ В НЕЙ
ДВИЖУТСЯ,
ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЯ,
ФИЛОСОФА И МАТЕМАТИКА
ЕГО СВЕТАСТИ



DISCORSO
AL SERENISSIMO
DON COSIMO II.
GRAN DVCA DI TOSCANA

Intorno alle cose, che Stanno in sù l'acqua, & che
in quella si muouono,

DI GALILEO GALILEI,
Filosofo, e Matematico della Medesima
ALTEZZA SERENISSIMA.



IN FIRENZE,
Appresso Cosimo Giunti. MDCXII.
Con licentia de' Superiori.

Факсимиле титульной страницы трактата Галилея
в издании 1612 г.



ак как я знаю, светлейший князь, что опубликование настоящего трактата, который столь противоречит по выводам тому, что думают многие, и который согласно намерению, выраженному мною в *Астрономическом указателе*, я давно уже должен был выпустить в свет, может дать повод к заключению, что я либо вовсе перестал заниматься новыми небесными наблюдениями, либо посвящаю им слишком мало времени, — я счел необходимым объяснить причину, побудившую меня оторваться от астрономии и написать и издать этот трактат ¹.

Что касается астрономии, то не столько последние открытия, касающиеся состоящего из трех тел Сатурна и изменений фигуры Венеры, подобных тем, которые наблюдаются с Луною, вместе с последствиями, отсюда вытекающими, задержали меня, сколько определение времени обращения каждой из четырех планет Медичи вокруг Юпитера, чем я занимался в апреле прошлого 1611 г., находясь

в Риме ². Здесь я окончательно убедился, что планета, ближайшая к Юпитеру, проходит в час 8 градусов 29 минут своей орбиты, совершая полное обращение в один день и $18\frac{1}{2}$ час., приблизительно; вторая проходит в час около 4 градусов 13 минут своей орбиты и совершает полное обращение в 3 дня и $13\frac{1}{3}$ час., приблизительно; третья проходит в час около 2 градусов 6 минут своей орбиты и полный круг — в 7 дней и 4 часа, приблизительно; наконец, четвертая и самая отдаленная проходит в каждый час 0 градусов $54\frac{1}{2}$ минуты, приблизительно, и делает полный круг в 16 дней и 18 час., приблизительно.

Так как скорость обращения планет требует строжайшей точности для вычисления положения их в прошлом и будущем, особенно, если дело идет о многих месяцах и годах, то мне пришлось посредством других более тщательных наблюдений, относящихся к большим промежуткам времени, исправить таблицы движений и привести их к кратчайшим периодам. Моих первоначальных наблюдений было недостаточно для получения надлежащей точности как вследствие их кратковременности, так и потому, что я тогда еще не нашел способа измерять посредством инструмента расстояние между этими планетами и отмечал эти промежутки простым отношением к диаметру тела Юпитера, как говорится, на-глаз. Такой способ хотя и не допускает ошибки, превышающей одну минуту, недостаточно точен для

вычислений при значительной величине сфер этих звезд. Но теперь, когда я нашел способ производить измерения без ошибки и на единую секунду, я буду продолжать свои наблюдения до окончания видимости Юпитера. Эти наблюдения должны будут иметь большое значение для наших познаний о движении этих планет, размерах их орбит и некоторых вытекающих отсюда следствиях. Попутно с этим я обратил внимание на темные пятна, появляющиеся на солнечном диске; они, меняя свое положение на нем, указывают или на то, что солнце обращается вокруг своей оси, или что другие звезды, подобные Венере и Меркурию, обращаются вокруг него, невидимые по своим малым, менее Меркурия, размерам, иначе как в том положении, когда они становятся между солнцем и нашим глазом. Разрешение вопроса, какое из этих предположений является истинным, не может не иметь значения, и им не следует пренебрегать. Продолжительные наблюдения убедили меня в том, что эти пятна суть вещество, связанное с поверхностью солнечного тела; они то появляются на ней в большом количестве, то расплываются, одни — быстрее, другие — медленнее, перемещаясь вместе с обращением солнца вокруг своей оси, что совершается приблизительно в один лунный месяц, — явление, величественное само по себе и еще более важное по своим последствиям.

Что касается предлагаемого трактата, поводом для которого послужил происходивший несколько

времени назад диспут с некоторыми учеными нашего города, и последовавшие затем, как известно вашей светлости, неоднократные споры, то написать его побудили меня многие причины. Самой главной было указание вашей светлости на то, что письменное изложение представляет единственный способ научить различать истинное от ложного, действительные причины от кажущихся; способ несравненно лучший, нежели словесный спор, при котором тот или другой, а чаще оба диспутанта, чрезмерно увлекаясь и от увлечения возвышая голос, не слушают друг друга, упорно не желая ни в чем уступить один другому и, далекие от первоначальных положений, начинают смешивать свои доводы с доводами окружающих.

Притом я полагал, что мне надлежит осведомить вашу светлость о том, как обсуждался данный вопрос во всей полноте, и как до того он трактовался другими, а также—почему доктрина, которой я следую в своем рассуждении, отличается от учения Аристотеля и его принципов; я полагаю, что высказать свое мнение, противное авторитету этого великого мужа, лучше пером нежели устно, так как его учение, разделяемое столь многими, заставляет относиться с недоверием ко всякому, кто не принадлежит к школе перипатетиков; поэтому я и решился написать настоящее рассуждение, в котором надеюсь показать, что я часто расхожусь с Аристотелем во взглядах не по прихоти и не потому,

что я не читал или не понял его, но в силу убедительных доказательств. Сам Аристотель научил меня удовлетворять свой разум только тем, в чем убеждают меня рассуждения, а не только авторитет учителя; совершенно правильно изречение Алкиноя, что философствование хочет быть свободным. По моему мнению, правильное разрешение вопроса, зависит ли от формы предметов то, что одни из них погружаются в воду, а другие нет, было бы небесполезно и для постройки мостов или иных сооружений над водами.

Итак, я говорю: прошлым летом на собеседовании с учеными было высказано положение, что сжатие есть свойство охлаждения, и, как пример этому, приводился лед. Тогда я сказал, что лед можно считать скорее разреженной, чем сгущенной водой, так как сжатие или конденсация подразумевают уменьшение объема и увеличение тяжести, а разрежение вызывает большую легкость и увеличение объема, вода же именно при замерзании увеличивается в объеме, и образовавшийся лед легче воды и держится на ее поверхности. Сказанное согласуется с тем, что доказал Архимед в своей книге I о телах, находящихся в воде, т. е. что при вычитании веса объема среды из общего веса тела, чем более увеличивается объем тела, тем более увеличивается и вычитаемый вес среды, взятой в том же объеме, и, наоборот, последний становится тем меньше, чем более тело при конденсации сжимается, принимая меньший объем.

Мне возражали, что это происходит не от большей легкости, но от широкой и плоской формы образующегося льда, который не может преодолеть сопротивления воды и потому плавает. Я отвечал, что всякий кусок льда какой угодно формы останется над водой — видимое доказательство того, что плоскость и ширина не играют никакой роли в его нахождении на поверхности; я прибавил, что еще более яркое доказательство этому — немедленное всплытие на поверхность льда, какой бы плоской формы кусок его мы ни опустили на дно; это было бы невозможно, если бы лед действительно был тяжелее воды, и его нахождение на поверхности обуславливалось формой, неспособной преодолеть сопротивление воды. Из сего заключаю, что нахождение тела на поверхности или на дне никоим образом не зависит от формы, но от большей или меньшей тяжести относительно воды, почему все тела тяжелее воды, без различия формы, опускаются на дно, а более легкие, также всякой формы, непременно остаются на поверхности. Полагаю, что те, кто думают иначе, вывели свое заключение из того, что различие в форме весьма влияет на быстроту или медленность движения, так что тела формы широкой и плоской погружаются значительно медленнее, чем тела того же вещества, но формы более сжатой; отсюда кто-нибудь может заключить, что расширение формы может быть доведено до такой степени, что не только замедлит, но и совсем прекратит движение; это я при-

наю совершенно ложным. Споры относительно этого положения велись в продолжение многих дней, причем были произведены различные опыты, некоторые из которых ваша светлость видели.

В этом трактате будет воспроизведено все, что было выдвинуто против моих заключений, а также все, что мне пришло на мысль в защиту и подтверждение их. Если этого будет достаточно, чтобы рассеять указанное утверждение, по моему мнению — ложное, то я сочту, что недаром потратил труд и время; если же мне это не удастся, то я все-таки извлеку из этого пользу для самого себя, познавая истину из опровержения моих ошибок и приведения верных доказательств теми, кто думает иначе, чем я. Чтобы выполнить это с большей убедительностью и ясностью, мне кажется необходимым прежде всего установить истинную, внутреннюю и общую причину всплывания некоторых тел из воды и нахождения их на поверхности ее, а также погружения других тел на дно, тем более, что меня совсем не удовлетворяет написанное по этому поводу Аристотелем.

Итак, я говорю, что причиной погружения некоторых тел на дно является превышение их тяжести над тяжестью воды; обратно, большая тяжесть воды по сравнению с тяжестью других тел является той причиной, которая заставляет их не погружаться, а, наоборот, подниматься со дна и всплывать на поверхность. Это было искусно доказано Архимедом в книгах о плавающих телах и было неверно понято

великим писателем, что я и попытаюсь доказать в защиту мнения Архимеда.

Выводы последнего я постараюсь подтвердить иным методом и иными средствами, приведя причины-указанных явлений к внутренним и непосредственным принципам, причем выяснится и причина того изумительного и почти невероятного явления, когда ничтожное количество воды одним своим легким весом поднимает и поддерживает твердое тело, которое в сто и тысячу раз тяжелее этого количества воды. А так как это требует последовательного доказательства, то я прежде всего определю некоторые термины и установлю некоторые положения, которыми и воспользуюсь для своих целей как истинными и известными.

Я считаю равными по удельному весу те вещества, которые имеют равный вес при равном объеме; так, например, если два шарика из воска и из какого-нибудь дерева, будучи равными по объему, имеют равный вес, то мы говорим, что такое дерево и воск одинаковы по удельному весу.

Одновременно с этим мы признаем равными по абсолютному весу такие два твердых тела, которые весят одинаково, хотя и разнятся по объему; так, например, если кусок свинца и кусок дерева весят каждый десять фунтов, то мы говорим, что они имеют одинаковый абсолютный вес, хотя объем дерева гораздо больше объема свинца, и дерево, следовательно, легче по удельному весу.

Более тяжелым по удельному весу я считаю такое вещество, которое при равном объеме с другим телом весит более последнего; таким образом я говорю, что свинец по удельному весу тяжелее, чем олово, так как, если взять их в равном объеме, то свинец будет весить больше. В то же время более тяжелым абсолютно я называю такое тело, которое по сравнению с другим весит более последнего, независимо от соотношения их объемов; так, большое бревно весит абсолютно больше малого куска свинца хотя по удельному весу свинец тяжелее дерева. То же, но в обратном смысле, надо сказать про тела, менее тяжелые по удельному весу и менее тяжелые абсолютно.

Определив эти термины, я позаимствую из науки механики два принципа: первый, — что два абсолютно равных груза, двигающихся с равными скоростями, обладают одинаковой силой или одинаковым «моментом» при всех своих действиях.

Под именем момента в механике разумеется та сила, то усилие, то действие, с которым двигатель двигает и движимое сопротивляется; эта сила зависит не только от простой тяжести, но и от скорости движения и от различного наклонения путей, по которым совершается движение, потому что тяжесть производит большее действие при опускании по более наклонному пути, чем по менее наклонному. В общем, какова бы ни была причина этой силы, она сохраняет название момента; мне казалось, что

это слово не является новостью в нашем языке, так как, если не ошибаюсь, часто говорят: «Это важное дело, а то имеет меньше значения», или — «Мы ценим пустые вещи и пренебрегаем имеющими значение». Эти метафоры, по моему мнению, взяты из механики³.

Так, например, два груза, равные по абсолютному весу и помещенные на двух равных плечах коромысла весов, остаются в равновесии и не опускаются, поднимая один другой; в самом деле, равенство расстояний их от центра, в котором укреплено коромысло и около которого они вращаются, заставляет эти грузы проходить при движении коромысла в данное время равные пространства, так как они движутся с одинаковой скоростью; следовательно, нет причины, почему бы один груз опустился более другого; поэтому они сохраняют равновесие, и моменты сил их остаются подобными и равными.

Второй принцип заключается в том, что момент и сила тяжести возрастают вместе со скоростью движения, так что грузы абсолютно равные, но движимые с разной скоростью, обладают различными усилиями, моментами и силами; при этом более мощным оказывается тот груз, который движется с большей скоростью и именно в той мере, в какой скорость его больше скорости другого тела. Прекрасным примером этого служат весы с неравноплечим коромыслом; если на них положить абсолютно равные грузы, то последние будут давить неравно

и развивать неравные усилия; груз, находящийся в большем расстоянии от центра, около которого вращается коромысло, опустится, подняв другой груз, причем движение поднимающегося груза будет медленным, а движение опускающегося — быстрым; такова сила или усилие, которое скорость движения придает движущемуся телу и которое может быть восполнено соответствующим грузом, приданным медленнее движущемуся телу. Если, таким образом, одно плечо коромысла в десять раз длиннее другого, вследствие чего при вращении коромысла около центра конец его проходит в десять раз большее пространство, чем конец короткого плеча, то груз, помещенный на длинном плече, сможет поддержать и уравновесить другой груз, который в десять раз больше него по абсолютному весу; это происходит от того, что при вращении коромысла меньший груз движется со скоростью в десять раз большей, чем скорость большего груза. При этом надо всегда понимать, что оба движения происходят при одинаковом наклоне, так что, если одно движущееся тело движется перпендикулярно к горизонту, то и другое движется по тому же направлению, если же движение одного происходит в горизонтальной плоскости, то и другое движется в той же плоскости; вообще оба движения предполагаются происходящими при одинаковом наклоне. Такое соотношение между тяжестью и скоростью существует у всех механических инструментов и принимается Аристо-

телем как принцип в его «Проблемах механики», почему мы можем принять за достоверное то положение, что неравные по абсолютной величине грузы могут взаимно уравновешиваться и приобретать равные моменты всякий раз, когда их вес будет обратно пропорционален скорости их движения, т. е. когда один груз будет во столько же раз легче другого, во сколько раз скорость его движения будет больше скорости другого.

Установив это, мы можем уже начать исследовать, каковы те твердые тела, которые совсем погружаются в воду и идут ко дну, и каковы те тела, которые неизбежно всплывают, так что, будучи силой погружены в воду, возвращаются на поверхность ее и возвышаются над нею частью своего объема. Это мы сделаем, рассмотрев взаимодействие тел и воды, происходящее после погружения. Тело, увлекаемое вниз своей собственной тяжестью, вытесняет при погружении воду из тех мест, которые оно, идя вниз, последовательно занимает; вытесненная вода при этом поднимается и возвышается над своим прежним уровнем; но, будучи по природе своей телом тяжелым, она противится этому подъему; и так как по мере погружения твердого тела поднимается все большее и большее количество воды, пока все тело не погрузится, то момент сопротивления воды подъему следует сравнить с моментом давящей тяжести твердого тела; если при этом момент сопротивления воды сравнивается с моментом давящего твердого тела раньше его полного

погружения, то, без сомнения, наступит равновесие, и тело перестанет погружаться; если же момент твердого тела будет постоянно превосходить момент сопротивления последовательно вытесняемой воды, то оно не только погрузится в воду, но под конец опустится до самого дна; если же, наконец, при погружении установится равновесие между моментами давящего твердого тела и сопротивления воды, то наступит покой, и тело сможет оставаться неподвижным в любом месте.

Отсюда ясна необходимость сравнивать тяжесть воды и твердых тел; на первый взгляд может даже показаться, что такого сравнения достаточно, чтобы заключить и определить, какие тела будут всплывать и какие пойдут на дно, и заявить, что плавать будут те тела, которые по удельному весу легче воды, и пойдут на дно те, которые по удельному весу тяжелее воды; в самом деле, погружающееся тело вытесняет такой же объем воды, какой занимает его погруженная часть, так что кажется невозможным, чтобы тело, которое по удельному весу легче воды, совсем ушло в воду: оно не в состоянии поднять тяжесть большую, чем его собственная, а таковой несомненно обладает равный ему объем воды. Точно так же кажется неизбежным, что тяжелое тело падает на дно, так как оно обладает достаточной силой, чтобы вытеснить равный ему объем воды, который легче его по весу. Однако на деле происходит иначе, и хотя заключения эти верны, но причины, приведенные здесь, не исчерпы-

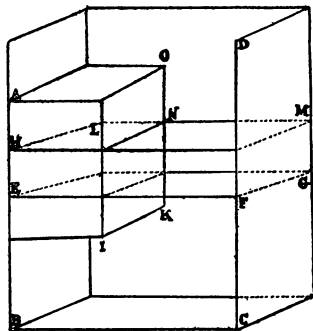
вают всех случаев; иногда объем вытесняемой воды меньше объема погружающейся части тела, и тем меньше, чем уже наполненный ею сосуд; таким образом может случиться, что тело совсем погрузится в воду, подняв воды одну десятую или двадцатую часть своего объема; и наоборот, ничтожное количество воды в состоянии поднять тело громадного объема, хотя бы это твердое тело было абсолютно тяжелее воды в сто или более раз, если только вещество его по удельному весу легче воды; таким образом громадное бревно, которое весит, скажем, 1000 фунтов, может быть поднято и поддержано водой, которая не весит и 50 фунтов, и это непременно произойдет, если момент воды усилится быстротой движения.

Но так как подобные явления, излагаемые отвлеченно, нелегки для понимания, то следует подтвердить их особыми примерами. Для облегчения доказательства условимся, что сосуды, содержащие воду и предназначенные для помещения в них твердых тел, будут цилиндрическими или призматическими со стенками, перпендикулярными к плоскости горизонта, а твердые тела будут представлять собою прямые цилиндры или призмы и не что иное.

Условившись в этом, начнем доказывать истину вышеизложенного, опираясь на следующую теорему.

Объем воды, который поднимается при погружении призмы или цилиндра или опускается, вытесняя их назад, меньше объема погружающегося или

вытесняемого тела, причем отношение первого объема ко второму равно отношению поверхности воды, окружающей тело, к сумме той же поверхности с площадью основания. Пусть $ABCD$ (фиг. 1) — данный сосуд, в котором вода стоит на уровне EFG , пока тело HIK не погрузилось еще в воду, и предположим, что когда это произойдет, то уровень воды повысится до LM ; тело HIK окажется при этом сполна под водою, объем же поднятой воды будет равен LG ; эта последняя величина меньше по объему, чем погруженное тело HIK , и равна только части его EIK , которая находится ниже прежнего уровня EFG . Последнее доказывает-ся тем, что по вынуж-



Фиг. 1.

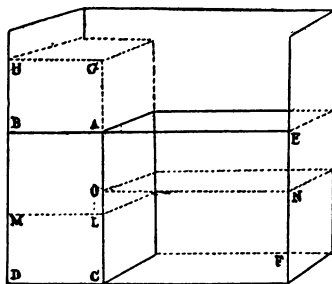
тии тела HIK вода LG возвращается и занимает объем EIK , который она занимала до погружения в нее призмы. Прикладывая теперь к равным объемам LG и EK один и тот же объем EN , найдем, что полученный объем EM , состоящий из части призмы EN и воды NF , равен всему телу HIK , вследствие чего отношение объема LG к объему EM равно отношению того же объема LG к объему тела HIK . Но объем LG так относится к объему

$ЕМ$, как поверхность LM к поверхности MH , откуда явствует, что объем поднявшейся воды LG относится к объему погруженного тела HIK , как поверхность LM , т. е. поверхность воды, окружающей тело, ко всей поверхности HM , составленной из указанной выше поверхности и площади основания призмы HN . Если же мы предположим, что первоначальным уровнем воды является HM , и что погруженная призма HIK вынимается из воды и поднимается до положения $ЕАО$, вода же понижается с первоначального уровня HLM до EFG , то ясно, что отнимая от призмы $ЕАО$, равной призме HIK , общий объем $ЕН$, мы получим, что верхняя часть $НО$ первой призмы будет равна нижней части EIK второй призмы. Но отсюда следует, что объем воды LG равен объему $НО$ и потому меньше объема всего тела, выступающего над водой, т. е. призмы $ЕАО$, и что отношение объема опускающейся воды LG к объему этой призмы равно отношению поверхности воды LM , окружающей тело, к той же поверхности, сложенной с основанием призмы $АО$. — Вот доказательство обеих частей вышеприведенного положения ⁴.

Отсюда явствует, что объем воды, поднимающейся при погружении твердого тела или опускающейся при извлечении его, равен не всему объему тела, которое погружается или извлекается, а только некоторой части его, которая при погружении остается под первоначальным уровнем воды, а при

извлечении — над соответствующим первоначальным уровнем, что и требовалось доказать. — Перейдем теперь к другим явлениям.

Прежде всего покажем, что если в один из сосудов условленной выше формы и какой угодно величины, безразлично — широкий или узкий, поместить цилиндр или призму, окруженные водой, то при поднятии тела от-
весно окружающая вода опустится, и опускание воды будет так относиться к подъему призмы, как основание призмы относится ко всей поверхности окружающей воды.



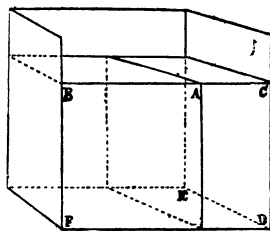
Фиг. 2.

Пусть в сосуд помещена призма $ABCD$ (фиг. 2), а остальное пространство заполнено водой, достигающей уровня EA , и пусть при поднятии тела AD и перемещении его в положение GM вода понижается с уровня EA до NO . Утверждаю, что понижение уровня воды, измеренное по линии AO , так относится к поднятию призмы по линии GA , как основание тела GH к поверхности воды NO . В самом деле, объем тела $GABH$, выступающий над первоначальным уровнем EAB , равен объему опустившейся воды $ENOA$; мы имеем здесь, следовательно, две равновеликих приз-

мы $ENOA$ и $GABH$. Но у равновеликих призм отношение оснований равно обратному отношению высот; поэтому высота OA так относится к высоте AG , как площадь основания GH к поверхности воды NO^5 . Таким образом, если поставить, например, колонну в обширный резервуар, полный воды, или в колодезь, содержащий ее в объеме немного большем, чем объем колонны, то при подъеме и извлечении колонны из воды окружающая вода опустится, и опускание это будет так относиться к поднятию колонны, как площадь основания колонны к превышению площади основания резервуара или колодца над площадью основания колонны; если поэтому отверстие колодца будет только на одну восьмую больше основания колонны, а основание резервуара будет в двадцать пять раз больше основания колонны, то при поднятии колонны на один фут вода в колодце опустится на семь футов, а в резервуаре — только на одну двадцать четвертую часть фута.

Убедившись в этом, нетрудно будет понять и то, что призма или прямой цилиндр, состоящие из вещества, которое по удельному весу легче воды, будучи окружены со всех сторон водою, не остаются внизу, но поднимаются, хотя бы окружающей воды было очень мало, и абсолютный вес ее уступал абсолютному весу тела. Пусть в сосуд $CDFB$ (фиг. 3) помещена призма $AEFB$, которая по удельному весу легче воды, и налита вода до уровня верхнего основания призмы; утверждаю, что если

предоставить эту призму самой себе, то она поднимется, будучи вытеснена окружающей водой $CDEA$. В самом деле, вода CE по удельному весу тяжелее тела AF ; поэтому отношение ее абсолютного веса к абсолютному весу призмы AF будет больше, чем отношение объема CE к объему AF (эти отношения были бы равны только в том случае, если бы удельный вес воды равнялся удельному весу вещества призмы). Но объем CE так относится к объему AF , как поверхность воды CA к поверхности или основанию призмы AB ; а это отношение в свою очередь равно отношению поднятия призмы при ее повышении к опусканию окружающей воды CE . Таким образом отношение абсолютного веса воды CE



Фиг. 3.

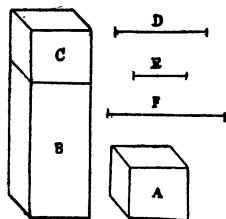
к абсолютному весу призмы AF больше, чем отношение поднятия призмы AF к опусканию воды CE . Поэтому момент, составленный из абсолютного веса воды CE и скорости ее опускания, с которым она давит, вытесняет и поднимает тело AF , больше момента, составленного из абсолютного веса призмы AF и медленности ее поднятия, с которым она противится вытеснению и усилию, развиваемому моментом воды; следовательно, призма поднимется⁶.

Вслед за этим покажем подробно, насколько поднимаются тела, которые легче воды, т. е. какая

часть их остается под водой и какая над поверхностью воды; но прежде докажем следующую лемму:

абсолютный вес твердых тел пропорционален совместно их удельному весу и их объему.

Пусть имеем два тела A и B (фиг. 4). Утверждаю, что абсолютный вес тела A так относится к абсолютному весу тела B , как произведение удельного веса тела A на его объем к произведению удельного веса тела B на его объем. Пусть отно-



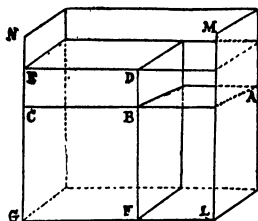
Фиг. 4.

шение линии D к линии E равно отношению удельного веса тела A к удельному весу тела B , а отношение E к F равно отношению объема A к объему B . Ясно, что отношение D к F есть сложное отношение D к E и E к F ; надо, следовательно, доказать, что отношение D к F , выражает

отношение абсолютного веса тела A к абсолютному весу тела B . Представим себе тело C , равное A по объему, и B — по удельному весу; так как объемы тел A и C одинаковы, то абсолютный вес тела A будет относиться к абсолютному весу тела C , как удельный вес тела A к удельному весу тела C или B , одинаковому для обоих тел, или как линия D к E . А так как C и B одинаковы по удельному весу, то отношение абсолютного веса тела C к абсолютному весу тела B будет равно

отношению объема C или A к объему B , или отношению линии E к F . Таким образом отношение абсолютного веса тела A к абсолютному весу тела C равно отношению линий D и E , а отношение абсолютного веса тела C к абсолютному весу тела B равно отношению линий E и F . Отсюда ясно, что отношение абсолютного веса тела A к абсолютному весу тела B равно отношению линии D к линии F , что и требовалось доказать ⁷.

Перейдем теперь к доказательству того, что цилиндр и призма, которые по удельному весу легче воды, будучи помещены в сосуд любой величины, не поднимаются при



Фиг. 5.

наполнении его водою, до тех пор пока вода не доходит до такого уровня, что отношение высоты тела к высоте состояния воды становится равным отношению удельного веса воды к удельному весу этого тела, и что при дальнейшем прибавлении воды тело поднимается.

Возьмем сосуд $MLGN$ (фиг. 5) любой величины, поместим в него призму $DFGE$, которая по удельному весу легче воды, и предположим, что отношение удельного веса воды к удельному весу призмы равно отношению высоты DF к высоте FB . Утверждаю, что при наполнении сосуда водою до высоты FB тело DG не поднимется и будет пребывать в рав-

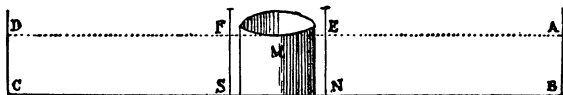
новесий, но что прибавление еще малого количества воды непременно его поднимает. Нальем в сосуд воды до уровня ABC ; так как удельный вес тела DG относится к удельному весу воды, как высота BF к высоте FD , т. е. как объем BG к объему GD , а отношение объема BG к объему GD , вместе с отношением объема GD к объему AF , дает отношение объема BG к объему AF , то отношение объема BG к объему AF равно сложному отношению удельного веса тела GD к удельному весу воды и объема GD к объему AF . Но такое сложное отношение удельного веса тела GD к удельному весу воды и объема GD к объему AF выражает, по предыдущей лемме, отношение абсолютного веса тела DG к абсолютному весу объема воды AF . Следовательно, отношение объема BG к объему AF равно отношению абсолютного веса тела DG к абсолютному весу объема воды AF ; но объем BG относится к объему AF , как основание призмы DE к поверхности воды AB , или как опускание воды AB к поднятию тела DG ; следовательно, отношение опускания воды к поднятию призмы равно отношению абсолютного веса призмы к абсолютному весу воды. Поэтому момент, составляющийся из абсолютного веса воды AF и скорости ее движения при понижении уровня, с которым она стремится вытолкнуть и поднять призму DG , равен моменту, составленному из абсолютного веса призмы DG и скорости движения, которым она обладала бы,

будучи поднята; этим моментом она и противится поднятию. Так как эти моменты равны, то между водою и твердым телом устанавливается равновесие. Ясно, что прибавление даже небольшого количества воды к имеющейся уже AF увеличивает ее вес и момент; поэтому призма DG будет вытолкнута и поднята, и только часть ее BF останется под водою, что и требовалось доказать⁸.

Из доказанного следует, что тела, которые по удельному весу легче воды, остаются под водою только до тех пор, пока вес воды, взятой в объеме погруженной части тела, не становится равным весу всего тела. В самом деле, зная, что отношение удельного веса воды к удельному весу призмы DG равно отношению высоты DF к высоте FB , или тела DG к телу GB , легко доказать, что абсолютный вес воды, взятой в объеме тела BG , равен абсолютному весу тела DG . Действительно, по предыдущей лемме отношение абсолютного веса объема воды, равного объему BG , к абсолютному весу призмы DG равно сложному отношению объема BG к объему GD и удельного веса воды к удельному весу призмы; но отношение удельного веса воды к удельному весу призмы равно отношению объема DG к объему GB ; следовательно, отношение абсолютного веса воды в объеме BG к абсолютному весу тела GD равно сложному отношению объема BG к объему GD и объема DG к объему GB , т. е. единице. Следовательно, абсолютный вес воды, взятой в объеме

погруженной части призмы BG , равен абсолютному весу всего тела DG ⁹.

Таким образом, если поместить твердое тело, которое по удельному весу легче воды, в сосуд любой величины и налить кругом воды до такой высоты, чтобы объем воды, равный объему погруженной части тела, весил столько же, сколько все тело, то это тело будет поддерживаться водою, независимо от того, будет ли количество ее огромным или ничтожным. Так, если поместить призму или цилиндр



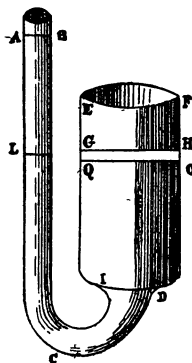
Фиг. 6.

M (фиг. 6), удельный вес которого составлял бы только три четверти удельного веса воды, в большой сосуд $ABCD$ и налить воды на три четверти его вышины, т. е. до уровня DA , то он будет поддерживаться водою и пребывать в равновесии; то же случится, если его поместить в сосуд $ENSF$, который был бы до того мал, что между сосудом и телом M оставалось только узкое пространство, способное вместить объем воды, составляющий лишь сотую часть объема M : он одинаково будет поднят и удержан водою, если налить последней, как и прежде, на три четверти вышины тела. Многим это покажется на первый взгляд совершенным парадоксом, и они подумают, что доказательство подоб-

ных явлений,— только софистика и обман; однако в справедливости изложенного они могут убедиться опытом. Тот же, кто вспомнит, как много значит скорость движения, и как точно она возмещает недостаток или отсутствие тяжести, перестанет изумляться; в самом деле, поднятие тела M лишь в малой мере понижает большой объем воды $ABCD$; но оно сильно и в одно мгновение опускает малый объем воды $ENSF$, хотя бы тело M было поднято на самую незначительную величину. Вследствие этого момент, слагающийся из небольшого абсолютного веса воды $ENSF$ и большой скорости опускания, сравнивается с силой и моментом, слагающимся из большого веса воды $ABCD$ и большой медленности ее опускания; при подъеме же тела M опускание малого количества воды ES происходит во столько раз быстрее, чем опускание большого объема воды AC , во сколько раз этот последний объем больше первого; это мы докажем следующим образом.

При подъеме тела M отношение его поднятия к опусканию окружающей воды $ENSF$ равно отношению поверхности этой воды к поверхности или основанию тела M , а отношение этого последнего к поверхности AD равно отношению опускания воды AC к поднятию тела M ; соединяя эти пропорции, получаем, что при подъеме тела M опускание воды $ABCD$ так относится к опусканию воды $ENSF$, как поверхность воды EF к поверхности воды AD , или как весь объем воды $ENSF$ ко всему объему

$ABCD$, которые имеют одинаковые высоты; отсюда ясно, что при выталкивании и подъеме тела M вода $ENSF$ превосходит по скорости движения воду $ABCD$ во столько же раз, во сколько эта последняя превосходит ее количеством; моменты же их получаются при этом одинаковыми.



Фиг. 7.

А для полного подтверждения и ясного объяснения этого явления рассмотрим прилагаемую фигуру, которая, если не ошибаюсь, может предохранить от заблуждения некоторых механиков-практиков, строящих иногда свои изобретения на ложных основаниях. Здесь от широкого сосуда $EIDF$ (фиг. 7) отходит узкая трубка $ICAB$; если налить в них воду до уровня LGH , то она в этом положении успокоится к удивлению того, кто не может сразу понять, почему тяжелый вес большого объема воды GD , давя вниз, не поднимает и не выталкивает малого количества воды, содержащегося в трубке CL , которое противится и препятствует этому подъему. Но мы перестанем изумляться, если представим себе, что вода GD опустилась до QO , и посмотрим, что сделалось с водою CL . Чтобы дать место воде, понизившейся с уровня GH до уровня QO , вода в трубке должна была бы подняться с уровня L до AB , причем поднятие LB было бы во столько раз

больше опускания GQ , во сколько раз ширина сосуда GD больше ширины трубки LC , или, что то же самое, во сколько раз количество воды GD больше количества LC ; но так как момент скорости движения одного движущегося тела возмещает момент тяжести другого, то что же удивительного в том, что быстрое поднятие малого количества воды CL сопротивляется медленному опусканию большого количества GD ?

Здесь происходит, следовательно, то же, что в весах, где груз в 2 фун. уравновешивает груз в 200 фун. всякий раз, когда пространство, проходимое первым грузом, в 100 раз больше пространства, проходимого вторым; а это бывает, когда одно коромысло весов в 100 раз длиннее другого. Пусть отпадет ложное мнение, что корабль держится лучше и легче в большом пространстве воды, чем в малом (как утверждает Аристотель в «Проблемах», отд. 23, предл. 11); напротив, верно и непреложно то, что корабль так же хорошо плавает в 10 бочках воды, как в океане.

Продолжая рассуждение, говорю, что из всего здесь до сих пор доказанного можно заключить, что тела, удельный вес коих более веса воды, не могут поддерживаться водою, в каком бы количестве ее ни взять. Мы видели, что момент, с которым твердое тело равного с водою удельного веса противодействует моменту некоторого давящего объема воды, может удержать тело в состоянии равно-

весья; тем менее, следовательно, вода может поднять тело, если оно тяжелее ее по удельному своему весу. Залитое водою до полного его погружения, такое тело останется на дне и будет сопротивляться поднятию с силою, равною излишку его абсолютного веса над абсолютным весом равного объема воды или другой жидкости, равной воде по удельному весу. Какое бы большое количество воды мы ни прибавили сверх уровня, определяемого высотой погруженного тела, мы этим не сможем получить такого давления на погруженные части твердого тела, которое могло бы вытолкнуть тело из воды, так как сопротивление погружению тела получается только от тех частей воды, которые при движении тела сами приходят в движение, а таковыми являются только те, которые заключены между двумя горизонтальными параллельными плоскостями, заключающими высоту погруженного в воду тела.

Мне кажется, что предыдущим я достаточно наметил и пояснил путь к рассмотрению истинной, действительной, внутренней причины движения и покая разных твердых тел в разных средах, в особенности в воде, показав, что на деле все зависит от перевеса тяжестей движущегося тела и среды. Что еще важнее, я разобрал пример, который для многих был причиною сомнения и препятствия признать за истину мои утверждения, а именно, каким образом, если причиною плавания и поднимания тела

со дна на поверхность является перевес тяжести воды над тяжестью данного тела, количество воды, весом менее десяти фунтов, может поднять тело, весящее более ста фунтов; я доказал, что достаточно наличия разницы в удельном весе между средою и телом, частные же и абсолютные веса могут быть какими угодно; таким образом любое тело, будь только оно по удельному весу легче воды, может быть поднято десятию и менее фунтами воды, хотя бы оно само весило тысячу фунтов, и наоборот, другое тело, если оно по удельному весу тяжелее воды, не может быть поднято и поддержано целым морем, хотя бы абсолютный вес его не превышал и одного фунта. Приведенные выше объяснения и примеры в достаточной мере выяснили и доказали все, относящееся к настоящему вопросу, чтобы стоило распространяться о нем в длинном трактате; если бы не необходимость рассеять указанное выше сомнение, то я остановился бы даже только на том, что доказывается Архимедом в первой книге о плавающих телах, где в общем устанавливаются те же самые положения, а именно: что тела легче воды всплывают, тяжелее воды — идут на дно, а равные по весу — остаются безразлично в любом месте, хотя бы и под водою ¹⁰.

Но так как эта доктрина Архимеда, изложенная и рассмотренная синьором Франческо Буонамико в книге V о движении, гл. 29, была последним опровергнута, что способно возбудить сомнения и подо-

рвать авторитет знаменитого и славного философа, то я счел необходимым выступить на ее защиту, если только смогу, и снять с имени Архимеда те ошибки, которые ему приписывают. Буонамико отказывается от доктрины Архимеда прежде всего потому, что она не согласуется с именем Аристотеля; при этом он прибавляет, что ему кажется удивительным, что вода должна превосходить весом землю, тогда как, наоборот, мы видим, что тяжесть в воде возрастает через прибавление земли. Далее, его совсем не удовлетворяют доводы Архимеда, так как на основании его доктрины нельзя понять причину, по которой судно или сосуд, плавающие на поверхности, опускаются на дно при наполнении водою; так как вес воды в сосуде равен весу всякой другой воды, то он должен был бы остаться на поверхности, а между тем он тонет. Он прибавляет далее, что Аристотель определенно опровергает древних, которые говорили, что легкие тела движутся, будучи подталкиваемы давлением более тяжелой окружающей среды: что, если бы это было так, необходимо было бы заключить, что все тела в природе тяжелы, и нет легких, так как подобное должно было бы случиться и с воздухом, и с огнем, помещенными в глубь воды. И хотя Аристотель признает действие ударов в элементах¹¹, благодаря которому земля принимает сферическую форму, но ему кажется, что оно не таково, чтобы могло передвигать тяжелые тела с присущего им места, тем

более, что оно скорее привлекает их к центру, к которому (как он довольно туманно говорит далее) особенно стремится вода, если только она не встречает препятствия, и тяжестью его не вытесняется со своего места; но и в таком случае, если не прямо, вода все же по возможности направляется к центру. Вообще, если случается, что легкие тела от таких ударов идут вверх, то это происходит в силу их природы, равно как и нахождение на поверхности. В заключение Буонамико говорит, что согласен с Архимедом в его выводах, но не признает указанных им причин, которые он и пытается свести к легкому или трудному разделению сред и к действию элементов, так что, когда движущееся тело превосходит мощностью среду, как, например, свинец воду, то он будет двигаться в ней, в противном же случае — нет.

Вот и все, что, насколько я мог собрать, выдвинуто синьором Буонамико против Архимеда. Он не взял на себя труда опровергнуть принципы и положения Архимеда ложные, если ложна самая доктрина, от которой они зависят, и удовольствовался приведением некоторых затруднений и указанием на противоречие этой доктрины мнению и доктрине Аристотеля. Отвечая на эти возражения, скажу прежде всего: никто не может подвергать сомнению доктрину Архимеда только потому, что она отличается от аристотелевой, так как нет достаточного основания в данном вопросе противопоставлять авто-

ритет одного философа другому. Там, где дело идет о законах природы, доступных духовным очам каждого, тот или другой авторитет теряет силу убедительности, уступая место силе разума.

Теперь перейду ко второму пункту, где приводится как абсурдное следствие из доктрины Архимеда, что вода должна быть тяжелее земли. На самом деле я не знаю, где Архимед сказал такую вещь, или как можно подобное утверждение извлечь из его положений; если бы мне это было доказано, то я, наверное, оставил бы его доктрину как совершенно ложную. Может быть такой вывод был сделан Буонамико из приведенного им примера пустого сосуда, плавающего на поверхности, который идет ко дну, будучи наполнен водою. Подразумевая, что сосуд сделан из земли, он аргументирует против Архимеда следующим образом: ты говоришь, что тела, которые плавают, легче воды; этот сосуд из земли плавает, следовательно, он легче воды; значит, земля легче воды. Если таково его рассуждение, то на него нетрудно ответить, соглашаясь с тем, что сосуд легче воды, но отрицая второе следствие, т. е. что и земля легче воды. Плавающий сосуд занимает в воде место, равное не только объему земли, из которой он сделан, но равное объему земли и воздуха, наполняющего его пустоту. И если такое тело, составленное из земли и воздуха, легче соответственного объема воды, то оно будет плавать, что совершенно согласно с доктриною Архимеда

если. теперь мы удалим воздух и наполним сосуд водою, так что, будучи помещен в воду, он останется только землею, т. е. будет занимать только тот объем, который имеет земля, послужившая для него материалом, то он пойдет ко дну, так как земля тяжелее воды, и это прекрасно согласуется с мнением Архимеда. Тот же результат получается при другом подобном опыте. При погружении на дно стеклянной бутылки, пока в ней есть воздух, чувствуется сильное сопротивление, так как не только стекло погружается в воду, но вместе с ним и большой объем воздуха, так что, если взять такой же объем воды, какой составляется из стекла и содержащегося в нем воздуха, то получается вес гораздо больший; поэтому бутылка погружается только значительным усилием; но если поместить в воду только одно стекло, т. е. бутылку, наполненную водою, то тогда стекло само опустится на дно, как превосходящее по тяжести воду.

Возвращаясь к первоначальному предложению, скажу, что земля тяжелее воды, почему тело из земли идет на дно; но можно сделать состав из земли и воздуха, который будет легче соответственного объема воды и останется на поверхности; и тот, и другой опыты отлично согласуются с доктриною Архимеда. Не встречая здесь никаких затруднений, я не хочу определенно утверждать, что синьор Буонамико из подобного вопроса вывел и приписал Архимеду нелепую доктрину, будто земля легче

воды; хотя, по правде сказать, я не могу представить, какое другое обстоятельство навело его на эту мысль.

Возможно, что эта проблема (по моему убеждению вымышленная) была вычитана синьором Буонамико у какого-либо другого автора, приписавшего такое странное свойство какой-то особой воде, и пущена им в ход для опровержения Архимеда вдвойне неправильно, так как Архимед подобной вещи не говорил, а тот, кто подобное говорил, не относил своего утверждения к обыкновенной воде как простому элементу.

Третьим затруднением в доктрине Архимеда является невозможность дать объяснение, почему судно или сосуд из дерева, которые в ином случае плавают, идут ко дну, будучи наполнены водою. Синьор Буонамико полагает, что деревянный сосуд, который по природе своей держится на поверхности, идет ко дну, наполненный водою, о чем он пространно рассуждает в следующей 30-й главе книги V; но я, не умаляя его странной доктрины, осмеливаюсь, защищая Архимеда, отрицать такой факт в уверенности, что дерево, которое по природе своей не тонет, не пойдет ко дну и выдолбленное и обделанное в форме какого угодно сосуда, а затем наполненное водою. Кто хочет произвести подобный опыт с другим удобным материалом, легко принимающим любую форму, может взять чистого воска и сделать из него шарик или другую плотную фигуру и за-

тем прибавить к воску свинца в таком количестве, чтобы эти фигуры с трудом тонули, т. е. чтобы свинца на одно зернышко менее было бы уже недостаточно для их погружения. Придав тому же воску форму сосуда и наполнив его водою, найдем, что без свинца он не пойдет ко дну, а со свинцом опустится с медленностью; в общем, налитая вода не внесет никакого изменения.

Я не отрицаю, что из дерева, по природе своей плавающего, могут быть сделаны суда, которые по заполнении водою тонут; но это происходит не от увеличения их веса водою, а от тяжести гвоздей или других железных частей; через соединение дерева и железа здесь получается тело, которое не легче, но тяжелее соответственного объема воды. Пусть уже синьор Буонамико перестанет отыскивать причины явления, которое не существует; если он полагает, что опускание на дно наполненного водою деревянного сосуда подвергает сомнению доктрину Архимеда, по которой он не должен опускаться, и согласуется с доктриною перипатетиков, объясняющей, почему такой сосуд должен потонуть, то я выскажусь в совершенно обратном смысле: доктрина Архимеда истинна, так как вполне согласуется с опытами, сомнительна же другая, выводы из которой приспособляются для объяснения ложных заключений. Что касается другого пункта, относящегося к тому же примеру, из которого видно, что синьор Буонамико подразумевает не только дерево,

обделанное в форме сосуда, но и массивные куски его, которые будучи наполнены, т. е. я полагаю, он хочет сказать — насыщены и пропитаны водою, опускаются в конце концов на дно, то это объясняется следующим образом. Пористое дерево, пока пустоты в нем наполнены воздухом или иной материей легче воды, представляет объем по удельному весу легче воды, как стеклянная бутылка, пока в ней есть воздух; но когда место легкой материи в порах и пустотах дерева займет вода, то может легко получиться тело, тяжелее воды, подобно тому как заменив в стеклянной бутылке воздух водою, мы получаем соединение воды и стекла более тяжелое, нежели соответственный объем воды. Однако перевес тяжести заключается в самом веществе стекла, а не в воде, которая не может быть тяжелее самой себя; равным образом, когда из дерева после отнятия воздуха и заполнения его пор водою образуется соединение дерева и воды, тяжелее воды, то это происходит не в силу воды, проникшей в поры, но в силу вещества самого дерева, остающегося по удалении воздуха. Такое тело, согласно с доктриною Архимеда, пойдет ко дну, тогда как первоначальное, в согласии с ней же, плавало на поверхности.

Перехожу, наконец, к тому, что приведено как возражение Архимеду в четвертом месте, а именно, что уже Аристотель опроверг древних, отрицавших положительную и абсолютную легкость, признававших на самом деле все тела тяжелыми и приписывавших

всякое движение толчкам окружающей среды; и так как доктрина Архимеда примыкает к этому мнению, то должна быть осуждена и отвергнута. Во-первых, мне думается, синьор Буонамико приписывает Архимеду или выводит из его слов более того, что тот говорил или что можно извлечь из его положений; Архимед нигде не отрицает и не признает положительной легкости и даже не касается этого вопроса, почему и не следовало бы обвинять его в отрицании ее как причины или принципа самостоятельного движения огня и других легких тел. Архимед, показав, как тела тяжелее воды опускаются в ней, вследствие перевеса их тяжести над тяжестью воды, показал равным образом, как менее тяжелые тела идут вверх в той же воде вследствие перевеса тяжести последней; отсюда, самое большее, можно сделать заключение: как перевес тяжести движущегося тела над тяжестью воды есть причина его опускания, так перевеса тяжести воды над тяжестью тела достаточно, чтобы оно не тонуло, а поднималось на поверхность. Архимед не рассматривает, существует ли еще какая-либо причина самопроизвольного движения, противная силе тяжести. Если полуденный ветер уносит барку с большею силою, чем течение реки, которое увлекает ее к югу; то движение ее будет направлено к северу; но если сила течения воды преодолевает силу ветра, то движение будет к югу; такое рассуждение справедливо, и напрасно стали бы опровергать его, говоря:

ты неправильно приводишь нам как причину движения барки к югу течение воды, превосходящее силу полуденного ветра; неправильно потому, что и сила северного ветра, противоположного южному, может уносить барку к югу. Такие возражения излишни, так как тот, кто приводит как причину движения течение воды, вовсе не отрицает, что и ветер, дующий в том же направлении, может иметь то же действие, но лишь утверждает, что в случае преобладания силы течения воды над силой южного ветра барка будет двигаться к югу, — и говорит истину. Совершенно так же, когда Архимед говорит, что перевес тяжести воды над той, с какой движущееся тело идет вниз, заставляет тело подыматься со дна на поверхность, то он проводит истинную причину этого явления, но не утверждает и не отрицает существования иной силы, противоположной тяжести, называемой некоторыми легкостью, которая может быть в состоянии заставить некоторые тела двигаться самопроизвольно.

Оружие синьора Буонамико должно быть направлено против Платона и других древних, которые совершенно отрицали легкость и, признавая все тела тяжелыми, говорили, что самопроизвольное движение тела происходит не от присущего ему внутреннего принципа, а единственно от воздействия среды; Архимед же со своей доктриною пусть останется незатронутым, так как он не дает повода к нападкам. Если это выступление мое в защиту

Архимеда покажется кому-либо недостаточным, чтобы освободить его от возражений и доводов, представляемых Аристотелем против Платона и других древних, могущих быть направленными и против Архимеда, видевшего в давлении воды причину вращения на поверхность тел, которые легче нее, то я не отказался бы и от поддержки признаваемого мною истинным положения Платона и других, совершенно отрицающих легкость и утверждающих, что в элементарных телах нет другого внутреннего принципа движения, кроме как к центру земли, и другой причины самопроизвольного движения (подразумевая такое, которое имеет подобие естественного движения), кроме давления жидкой среды, превышающей по тяжести движущееся тело. Все противные доводы Аристотеля, думается, я мог бы полностью опровергнуть и постарался бы это сделать, если бы то было необходимо при обсуждении настоящего вопроса и не заняло бы слишком много места в этом кратком трактате. Скажу только, что если бы каким-либо из наших элементарных тел были присущи внутренний принцип и естественная склонность стремиться от центра Земли и направляться к Луне, то такие тела, без сомнения, шли бы вверх быстрее в среде, менее сопротивляющейся движению тела, т. е. более легкой и тонкой, какою, например, является по сравнению с водою воздух, в чем каждый может убедиться, вращая руку или доску, — в воздухе гораздо быстрее и легче, нежели

в воде. Между тем не найдется ни одного тела, которое поднималось бы в воздухе быстрее, чем в воде; мы видим даже, что все тела, постоянно поднимающиеся в воде, совершенно утрачивают движение, достигнув пределов воздуха, не исключая и самого воздуха, который, быстро восходя в воде, останавливается в самом движении, как только достигает своей области, и медленно расходится в ней. Так как опыт показывает нам, что тела, последовательно менее и менее тяжелые, поднимаются в воде все быстрее, нельзя сомневаться, что и вещество огня быстрее поднимается в воде, чем в воздухе, каковой воздух, по наблюдениям, поднимается в воде быстрее, чем вещество огня в воздухе; отсюда приходим к неизбежному заключению, что то же вещество гораздо скорее поднимется в воде, нежели в воздухе, и что, следовательно, оно движется воздействием окружающей среды, а не внутренним принципом, заставляющим его удаляться от центра, к которому тяготеют другие тяжелые тела.

По поводу последнего заключения синьора Буонамико, в котором то явление, что одни тела опускаются, а другие нет, объясняется легкостью или трудностью разделения среды и действием элементов, я отвечу сначала на первую часть: ни в каком случае выставляемая причина не является действительной, так как в жидкой среде, как-то: воздухе, воде и других жидкостях нет противодействия разделению, но все они малейшей силою разделяются

и проникаются, как я покажу ниже; таким образом из сопротивления разделению не может возникнуть никакого действия, и его не существует. Что касается второго положения, то я скажу, что действие элементов в движущихся телах обнаруживается лишь в излишке или недостатке тяжести их по отношению к среде, что в своем действии элементы играют роль то как более тяжелые, то как более легкие; поэтому все равно сказать, что еловое дерево не идет ко дну потому, что тяготеет к воздуху, или просто, что оно легче воды. Непосредственная причина — его сравнительная легкость, а тяготение к воздуху — причина менее важная; поэтому тот, кто приводит как причину господство элементов, приводит причину причины, а не причину ближайшую и непосредственную. А кто же не знает, что истинная причина есть именно непосредственная, а не та, которая действует через посредство других?! Кроме того, тот, кто ссылается на тяжесть, приводит причину, осязательную для чувства, и нам весьма просто понять, что эбеновое или еловое дерево тяжелее или легче воды; но как наглядно доказать нам, что они имеют тяготение к земле или воздуху? — Для этого нет иного средства, как убедиться на опыте, плавают они или идут ко дну. Таким образом тот, кто не знает, что такое-то тело плавает, до тех пор пока не знает, имеет ли оно тяготение к воздуху, не узнает, будет ли оно плавать, пока не увидит его плавающим, потому что нельзя узнать,

имеет ли тело тяготение к воздуху иначе, как увидав, что оно плавает; итак, следовательно, нельзя узнать, что тело плавает иначе, как увидав его пребывающим на поверхности воды. Не будем поэтому отвергать того, хотя бы и небольшого, облегчения, которое предлагает нашему разуму рассуждение, и примем за истину положения Архимеда: всякое твердое тело, которое тяжелее воды, пойдет ко дну, если же оно легче нее, то обязательно будет плавать; тело остановится безразлично в любом месте внутри воды, если его тяжесть будет совершенно равна тяжести воды.

Установив и разъяснив эти положения, я хочу рассмотреть теперь, какое значение имеет различие в форме данного тела по отношению к упомянутым движениям или покою, и возвращаясь к утверждению: различие формы, придаваемой тому или другому телу, не может быть ни в каком случае причиною его опускания на дно или поднятия на поверхность; так что, если тело, которому придана, например, сферическая форма, идет в жидкости ко дну или к поверхности, то утверждаю, что и при всякой иной форме оно в той же жидкости опустится или поднимется, и такое его движение не может быть отнято или уничтожено большей шириной или другими изменениями формы.

Возможно, что ширина фигуры замедлит быстроту опускания или подъема в тем большей степени, чем более широкой и тонкой будет сделана фигура;

но довести подобное изменение до такой степени, чтобы устранить дальнейшее движение того же вещества в той же воде, — это я признаю совершенно невозможным. В этом пункте я нашел много возражающих, которые произвели несколько опытов, между прочим один с тонкой дощечкою и шариком из эбенового дерева, показав, как шарик в воде опускался на дно, а дощечка, тихонько положенная на воду, не тонула, но оставалась на поверхности, из чего заключили, подкрепив свое мнение авторитетом Аристотеля, что настоящей причиной покоя была ширина фигуры, неспособной по своему малому весу разделить и преодолеть противодействующую густоту воды, какое противодействие быстро преодолевается другой — круглой фигурой.

Это главный пункт настоящего вопроса, в котором я постараюсь доказать, что отстаиваю правильное воззрение. Начну с попытки исследовать при помощи точного опыта, действительно ли фигура не изменяет опускания или неопускания на дно одних и тех же тел, после того как я уже доказал, что большая или меньшая тяжесть тела по отношению к тяжести среды есть причина опускания и подъема. Когда мы хотим испробовать, какое влияние на это движение может иметь различие фигуры, то необходимо производить опыты с веществами, в которых не может иметь места разница в тяжести; иначе, употребляя вещества, тела из которых могут быть разного удельного веса, мы останемся всегда при

сомнительных выводах, встречаясь с разницей эффекта опускания или подъема, — происходит ли такая разница действительно от одной формы или же еще и от разницы в тяжести. Устраним это неудобство, взяв вещество, которому можно легко и удобно придать любой вид и форму. Затем, в высшей степени удобно брать вещество, наиболее близкое по тяжести к воде, потому что такое вещество является безразличным в отношении тяжести к опусканию или поднятию; следовательно, на нем всего быстрее обнаружится каждое малое различие, происходящее от изменения фигуры.

Чтобы достигнуть этого, всего пригоднее воск, который, не испытывая особого изменения от пропитывания водою, удобен также тем, что один и тот же кусок его легко превращается в любую фигуру; к тому же он по удельному весу немного легче воды и с прибавлением внутрь малой доли свинца становится совершенно равным с нею по весу.

Приготовим из воска шарик величиною с апельсин или более, сделав его таким тяжелым, чтобы он оставался на дне, но настолько незначительно более тяжелым, чем вода, чтобы при отнятии небольшой частицы свинца он поднимался на поверхность, при прибавлении же ее возвращался на дно. Превратив затем тот же воск в тончайшую и широкую пластинку и проделав тот же опыт, увидим, как она, положенная на дно с прибавлением кру-

пинки свинца, останется внизу, при отнятии свинца поднимется на поверхность, а при прибавлении снова опустится на дно. Подобное же произойдет с фигурами всех видов как правильными, так и неправильными, и среди них не встретится ни одной, которая поднималась бы, пока мы не отнимем от нее крупинки свинца, или пошла бы на дно, пока мы не прибавим его. В результате увидим, что вообще в движении не обнаружится никакой разницы, кроме увеличения или уменьшения быстроты; тела более широкие и плоские будут двигаться медленнее как при опускании на дно, так и при поднятии; другие тела, более узкие и плотные, будут двигаться быстрее. После этого я не могу понять, какое значение можно приписывать разнице фигур, если разнообразнейшие формы сами по себе не могут произвести того действия, какое производит отнятие или прибавление малейшей частицы свинца.

Представляя себе, что кто-нибудь из противников может подвергнуть сомнению прозведенный мною опыт, обращаю внимание прежде всего на то, что фигура сама по себе, только как таковая, отдельно от вещества, ничего не производит; необходимо, чтобы она была соединена с веществом, и притом не со всяким веществом, а только с таким, с которым она может произвести желаемое действие. По опыту мы знаем, что острый и тонкий угол более пригоден для резания, чем тупой; однако, это свой-

ство обнаруживается лишь по отношению к веществу, способному резать, например железу, ибо нож с острым и тонким лезвием режет хлеб и дерево лучше, чем нож с острием тупым и грубым; но кто вздумал бы взамен железа взять воск и сделать из него нож, конечно, не мог бы при таком веществе узнать, какое действие производит лезвие острое и лезвие тупое, потому что ни то, ни другое в данном случае не будет резать, ибо воск по своей мягкости не способен преодолеть твердость дерева или хлеба. Прилагая подобное рассуждение к нашему примеру, скажем, что разность фигур выкажет различие в эффекте опускания или неопускания лишь в соединении с веществом, но ни каким угодно, а только таким, которое по своей тяжести способно преодолеть сопротивление воды; но, если бы кто-нибудь взял пробковое или иное легчайшее дерево, неспособное по своей легкости преодолеть сопротивления плотности воды, и из такого материала сделал бы тела разной формы, то он напрасно стал бы наблюдать, как влияет форма на опускание тел, ибо все тела останутся на поверхности, и это не в силу свойства той или иной фигуры, но вследствие легкости вещества, лишенного того веса, который требуется, чтобы превзойти и преодолеть плотность воды.

Следовательно, если мы хотим видеть, как влияет различие в форме тела, то необходимо выбрать прежде всего вещество, способное преодолеть плот-

ность воды; для этого необходимо взять материал, который, будучи обделан в форму шара, идет ко дну; выбрав для этой цели эбеновое дерево, сделали из него маленькую тонкую дощечку и показали нам; что, положенная на поверхность воды, она остается, не опускаясь на дно; сделав из того же дерева шарик не более ореха величиною, нашли, что он не остается на поверхности, но тонет. Из этого опыта, повидимому, можно заключить, что ширина фигуры в плоской дощечке и есть причина того, что она не опускается вниз, ибо шарик из того же материала, отличающийся от дощечки только фигурою, в той же воде идет ко дну. Это рассуждение и этот опыт представляются весьма убедительными и правдоподобными, и не удивительно, что многие, убежденные тем, что сами видели, согласятся со сделанными отсюда выводами; однако же, думается, я в состоянии открыть, что тут кроется некоторая доля обмана.

Начиная рассматривать по частям упомянутый опыт, скажу, что фигуры, только как фигуры, не только не оказывают влияния на тела в природе, но и не существуют отдельно от субстанции тел, и я ни в коем случае не предполагал их в отвлечении от материи; я свободно допускаю, что если мы хотим испытать, какова будет разница результатов в зависимости от разницы фигур, то их надо прилагать к веществам, которые не препятствовали бы проявлению действия этих разных фигур; признаю и

заявляю, что поступил бы неправильно, если бы захотел исследовать, какое значение может иметь острота лезвия ножика из воска в применении к разрезыванию им дуба, ибо не существует остроты, соединенной с воском, которая могла бы разрезать твердейшее дерево. Но нелишним может оказаться произвести опыт с подобным ножом, разрезая им простоквашу или другую подобную, легко поддающуюся воздействию материю; для такого вещества, напротив, чтобы узнать разницу, происходящую от более или менее острых углов, гораздо пригоднее воск, нежели сталь, ибо простокваша одинаково легко разрезывается и острой бритвой и тупым ножом. Поэтому необходимо принимать во внимание не только твердость, плотность и тяжесть тел, которые в виде разных фигур должны разделять другие вещества и проникать в них, но учитывать и сопротивление этих последних веществ разделению и проникновению в их среду. Так как я для опыта по предмету нашего разногласия выбрал вещество, которое преодолевает сопротивление воды и при всех формах опускается на дно, то мои противники не могут представить мне никакого возражения, тем более, что я предложил способ более утонченный, чем они, при котором устранены все иные причины опускания или неопускания на дно и сохранено единственное и простое различие фигур, и показал, как все эти фигуры опускаются единственно от увеличения этого веса на один гран,

по отнятии же добавочного веса возвращаются на поверхность. Неправильно было бы поэтому возражение (возвращаясь к приведенному примеру), что я пожелал исследовать влияние остроты на разрезывание при помощи веществ, не способных резать; напротив, я выбрал вещества, вполне отвечающие нашей задаче, и не подвергал их никаким изменениям, кроме тех, которые относятся к фигуре тела, то более тупой, то более острой.

Но будем продолжать дальше и отметим, что в наше рассуждение было действительно без особой надобности введено соображение относительно необходимости выбирать вещество, пригодное для нашего опыта, именно соображение, что как острота достаточна для резания только в соединении с веществом твердым и способным преодолеть сопротивление дерева или чего-либо иного, что мы намереваемся резать, точно так же и движение в воде должно и может познаваться на веществах, способных превзойти сопротивление воды и преодолеть ее плотность. Если я и говорю, что крайне необходимо делать различие между веществами при выборе того, из которого предполагают делать разные фигуры для разрезания того или иного тела, в соответствии с большей или меньшей плотностью и твердостью этих тел, то затем прибавляю, что такое различие, выбор и предосторожность представляются бесполезными и излишними, если разрезываемое или разделяемое тело не представляет

никакого сопротивления и совсем не противится разрезыванию и разделению; если бы, например, предполагалось резать ножами туман или дым, то мы могли бы одинаково пользоваться как картоном, так и дамасской сталью. Так как вода не представляет никакого сопротивления для проникновения в нее любого твердого тела, всякий выбор вещества является излишним и ненужным; и когда я говорил выше о том, что хорошо избирать вещество, схожее по плотности с водою, то это потому, чтобы было необходимо преодолевать не плотность воды, но ее тяжесть, в силу которой она единственно противится погружению твердых тел. Тому, кто видит причину сопротивления в плотности, скажу, что при внимательном рассмотрении мы найдем, что все твердые тела, как те, которые идут на дно, так и другие, которые плавают, одинаково пригодны и способны привести нас к познанию истины в нашем споре. От веры в такой вывод меня не отвратят опыты, могущие еще быть выставленными против меня над разными сортами дерева и пробки или тонкими пластинами из разного рода камня, металла и, вообще, вещества, стремящегося по своей природной тяжести к центру земли, хотя бы все они и, были неспособны вследствие ли фигуры (как полагают мои противники) или по своей легкости проникнуть в среду водяных частиц, разрушив их соединение между собою, и остаются, не погружаясь в воду, на ее поверхности; не убедит меня и авторитет

Аристотеля, который во многих местах утверждает противное тому, что показывает мне опыт.

Итак, возвращаясь к утверждению, что нет твердого тела, ни такой легкости, ни такой фигуры, чтобы, будучи положено на воду, оно не разделяло частиц и не проникало в нее; напротив, тот, кто внимательным взглядом станет наблюдать тонкие деревянные дощечки, увидит, что частью своей толщины они находятся под водою, а не только соприкасаются своей нижней поверхностью с поверхностью воды, что было бы неизбежно, если признать правильным мнение тех, которые говорят, что такие дощечки не тонут, ибо не способны преодолеть сцепление частиц воды; они увидят затем, что тончайшие пластинки эбена, камня или металла, оставаясь на поверхности, не только разрушают сцепление водяных частиц, но всей своей толщиной остаются ниже поверхности воды и тем ниже, чем тяжелее их вещества, так что тонкий лист свинца остается ниже поверхности окружающей воды приблизительно на двенадцатикратную свою толщину; а золото опускается в воду на глубину почти в двадцать раз большую, чем толщина его пластинки, как это я и покажу ниже.

Но продолжим доказательство того, что вода уступает и позволяет проникнуть в нее каждому легчайшему твердому телу, а вместе с тем покажем, как и на веществах, которые не тонут, можно убедиться, что фигура тела не оказывает влияния

на опускание или неопускание его на дно, так как вода свободно проникается любой фигурой.

Сделаем конус или пирамиду из кипариса, или из иного дерева подобного веса, или же из чистого воска; пусть эта фигура будет достаточной высоты, например в пядь или более; поместим ее в воду основанием книзу. Мы увидим, во-первых, что пирамида проникнет в воду, чему совсем не мешает ширина основания; однако, она не вся погрузится, а будет выставлять из воды вершину, откуда ясно, что такое твердое тело останавливается в погружении не по невозможности разделить сцепление частиц воды, так как оно уже разделило водяные частицы своей широкой стороной, по мнению наших противников наименее способной разделять. Когда пирамида установится, заметим, какая часть ее находится над водою; обратив ее затем острым концом вниз, увидим, что она проникает в воду не более, чем прежде; напротив, если отметим до какой черты она погрузилась, каждое лицо, знакомое с геометрией, будет в состоянии вычислить, что части, остающиеся над водой и в том и в другом опыте совершенно равны по объему, откуда вытекает, что острая фигура, казавшаяся более приспособленной для разделения воды и проникновения в нее, разделяет ее не более, чем фигура широкая и плоская.

Кто захочет произвести еще более наглядный опыт, пусть сделает из того же материала два

цилиндра — один длинный и тонкий, а другой короткий, но более широкий, и опустит их в воду не боком, но прямо, основанием вниз; измерив тщательно части того и другого, он увидит, что в каждом из цилиндров погруженная часть по отношению к той, которая остается вне воды, сохраняет в точности ту же пропорцию, и что у длинного и легкого цилиндра погружается не большая часть, чем у более объемистого и широкого, хотя последний и опирается на большее пространство поверхности воды, чем первый; итак, различие фигуры не облегчает и не затрудняет опускания и проникновения в воду, а следовательно, не может быть и причиною опускания или неопускания на дно. Подобное же отсутствие влияния разности фигур при подъеме тел со дна на поверхность обнаруживается, если возьмем воск, прибавим к нему достаточное количество свинца, чтобы он сделался определенно тяжелее воды, сделаем из него шарик и опустим его на дно; после того привяжем к нему столько пробки или другого легкого вещества, чтобы последнего было как раз достаточно для всплывания воска на поверхность; при раскатывании затем воска в широкую пластинку и при любом ином изменении его формы найдем, что та же пробка таким же образом поднимает его вверх.

Но мои противники не удовлетворяются этим, говоря, что для них мало значат все мои приведенные до сих пор рассуждения. Основываясь на одном

своим примере, в котором вещество и фигуры, избранные ими, были плоская дощечка и шарик эбенного дерева, причем, как они показали, последний идет ко дну, а первая остается на поверхности, они утверждают, что, так как вещество одно и то же, различие же заключается лишь в фигурах тел, то они и достигли своей цели, наглядно и окончательно доказав то, что им требовалось. Тем не менее, я верю и надеюсь, в состоянии показать, что такой опыт не заключает в себе ничего, противного моим выводам.

Во-первых, неверно, что шарик идет ко дну, а дощечка нет, потому что дощечка так же тонет, как и всякая иная фигура, если с ней поступить так, как то требуется по условиям нашей задачи, т. е. если она будет подожена в воду.

Существо нашего спора таково: противники полагают, что фигура вносит изменение в способность твердых тел подниматься или не подниматься, опускаться или не опускаться в жидкой среде, например в простой воде, таким образом, что, например, твердое тело сферической формы пойдет ко дну, а при придании ему иной фигуры—не пойдет; я, полагая противное, утверждаю, что твердое тело, которое, имея сферическую форму, упадет на дно, упадет туда и при всякой иной форме. Но быть в воде—это значит быть помещенным в воду; а по определению понятия места тем же Аристотелем быть помещенным—значит быть окруженным по-

верхностью объемлющего тела; следовательно, обе фигуры тогда только будут в воде, когда поверхность воды их окружает и объемлет. Но, когда противники показывают эбеновую дощечку, не опускающуюся на дно, они кладут ее не в воду, а сверх воды, где она, удерживаемая некоторым препятствием (как это выяснится ниже), и остается окруженная частью водою, частью же воздухом, каковое обстоятельство противно нашему условию, согласно которому тела должны быть в воде, а не частью в воде, частью в воздухе.

А что это именно так, видно из самой постановки вопроса, касающегося как тел, которые должны тонуть, так и тех, которые со дна должны подниматься на поверхность; а кто же не признает, что вещи, помещенные на дно, должны быть окружены водою?

Заметим, далее, что эбеновая дощечка и шарик, положенные в воду, оба пойдут ко дну, но шарик быстрее, а дощечка медленнее, и тем медленнее, чем она шире и тоньше; и причиной такого замедления является действительно ширина фигуры. Но дощечки, которые медленно опускаются, те же самые, которые, легко положенные на воду, плавают; следовательно, если бы утверждение противников было правдою, то одна и та же фигура в одной и той же воде была бы причиною то покоя, то медленности движения, что невозможно, потому что каждая особая фигура опускающаяся на дно,

необходимо имеет собственную и присущую ей от природы медленность, в соответствии с которой она опускается; увеличенная или уменьшенная медленность движения не свойственны ее природе; поэтому, если дощечка, скажем, в квадратную пядь, опускается естественно с медленностью, которую мы обозначим семью градусами, то невозможно, чтобы она опускалась с десятью или двадцатью градусами медленности, если только какое-нибудь новое препятствие не будет тому причиною. Еще менее может она по причине той же фигуры успокоиться и остаться совершенно лишенной движения; каждый раз, когда она останавливается, необходимо искать какое-либо встретившееся препятствие, независимое от ширины фигуры. Итак, что-то иное, чем форма, удерживает эбеновую дощечку над водой, потому что форма влияет единственно на замедление движения, почему дощечка и опускается медленнее шарика. Поэтому в рассуждении своем я и говорю, что истинная и единственная причина опускания на дно эбена — это перевес его тяжести над весом воды, большей же или меньшей медленности движения — более широкая или более сжатая фигура; но об остановке движения никоим образом нельзя сказать, чтобы причиною ее было свойство фигуры, потому что, если и будем достигать большой медленности, по мере того как расширяется и утончается фигура, то все же нельзя представить себе такого огромного расширения, которому не

соответствовала бы чрезвычайная медленность, не достигающая, однако, полного отсутствия движения; фигуры, выставляемые противниками для доказательства покоя, на самом деле идут ко дну.

Я не могу умолчать о другом доказательстве, основанном также на опыте, из которого, если я не ошибаюсь, можно определенно заключить, что ширина фигуры и сопротивление подлежащих разделению частиц воды не производят никакого действия на движение или покой тела в воде. Выберем дерево или другой материал, шарик из которого поднимается со дна на поверхность медленнее, нежели опускается на дно шарик эбенового дерева, из чего заключаем, что эбеновый шарик быстрее разделяет воду при погружении, чем другой при подъеме; пусть выбранное вещество будет ореховое дерево. Сделаем теперь из ореха дощечку, совершенно сходную и одинаковую с остающейся на поверхности эбеновой дощечкой наших противников; если правда, что она остается там благодаря неспособности своей фигуры по ее ширине разделить водяные частицы, то ореховая дощечка, будучи помещена на дно, без всякого сомнения, должна будет остаться там, как неспособная в силу той же особенности фигуры преодолеть ту же плотность воды. Но, если мы найдем и на опыте увидим (а оно так и будет), что не только дощечка, но и всякая иная фигура из того же ореха будет подниматься на поверхность, пусть мои противники

перестанут приписывать плавание эбена форме дощечки, так как сопротивление частиц воды одинаково наверху и внизу, а сила движения орехового дерева на поверхность менее силы движения эбенового дерева ко дну.

Сверх того, замечу следующее: сравнив золото с водою, найдем, что оно превосходит ее по весу почти в 20 раз; отсюда сила и быстрота, с которыми золотой шарик идет ко дну, очень велики.

С другой стороны, нет недостатка в веществах, как то: простой воск и дерево разного рода, которые по тяжести разнятся едва на два процента от воды; поэтому они поднимаются в воде очень медленно: стремление их к подъему раз в тысячу слабее, нежели стремление золота опуститься; и все же тонкая золотая пластинка плавает, не опускаясь на дно, в то время как мы не можем сделать из воска или дерева пластинки, которая, будучи положена на дно, осталась бы там без движения. Теперь, если фигура может воспрепятствовать разделению воды и помешать опусканию золота, имеющего большое стремление тонуть, то почему ее не будет достаточно, чтобы воспрепятствовать разделению воды другим веществом при его подъеме, хотя оно при этом обладает едва ли одной тысячной силы стремления золота ко дну?

Необходимо, следовательно, признать, что поддерживает тонкую пластинку золота и эбеновую дощечку что-то такое, чего недостает другим пла-

стинкам и дощечкам из веществ легче воды, ибо они, будучи помещены на дно и оставлены на свободе, беспрепятственно всплывают на поверхность; но они обладают плоской и широкой фигурой; следовательно, не фигура удерживает золото и эбен на поверхности. Какая же здесь действует причина? Я сказал бы, что это нечто противоположное причине, по которой тело опускается на дно, так как опускание на дно и нахождение на поверхности суть явления противоположные, а причины противоположных явлений также должны быть противоположными.

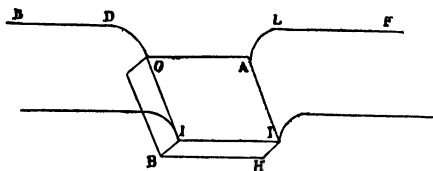
Но, так как причиною опускания на дно эбеновой дощечки и тонкой золотой пластинки, когда они тонут, является без всякого сомнения их большая по сравнению с водою тяжесть, то необходимо признать, что причиною их нахождения на поверхности, когда они плавают, является легкость, которая в этом случае каким-то до сих пор незамеченным образом присоединяется к дощечке, делая ее не такой, какой она была ранее, когда тонула, т. е. не более тяжелой, чем вода, а более легкой. Но эта новая легкость не может зависеть от фигуры, как потому, что фигуры не прибавляют и не отнимают веса, так и потому, что в дощечке не происходит никакого изменения в фигуре, когда она идет на дно и когда плавает на поверхности.

Возьмем теперь опять тонкую золотую или серебряную пластинку или дощечку из эбенового дерева

и положим их легонько на воду так, чтобы они остались там, не погружаясь, и будем наблюдать, что при этом происходит. Прежде всего увидим, насколько неосновательны слова Аристотеля и моих противников, что они останутся на поверхности по неспособности разделить противодействующую плотность воды и проникнуть в нее, ибо наглядно выяснится, что эти пластинки не только проникнут в воду, но будут значительно ниже ее поверхности; вода кругом этих пластинок возвышается, образуя нечто вроде вала, в глубине которого те плавают, и сообразно тому, во сколько раз вещество этих пластинок будет тяжелее воды — в два, четыре, десять или двадцать раз, — и поверхность их будет ниже общей поверхности окружающей воды на величину, во столько-то и столько-то раз превосходящую их собственную толщину, как то впоследствии будет показано.

Пока для лучшего усвоения сказанного рассмотрим прилагаемый чертеж (фиг. 8), на котором поверхность воды обозначена линией $BDLF$; если положим на нее дощечку из вещества тяжелее воды так осторожно, чтобы она не потонула, то она не только не останется сверху, но всей своей толщиной войдет в воду и опустится еще, как то показано на чертеже для дощечки OI , AI , которая всей своей толщиной погружается в воду, а вокруг нее остаются валики LA , DO воды, поверхность которой значительно выше поверхности до-

щечки. Теперь мы видим, насколько справедливо мнение, будто пластинка не идет ко дну по причине неспособности ее фигуры преодолеть плотность воды! Но, если она уже преодолела сцепление частиц воды и по своей природе тяжелее воды, то по какой же причине она не продолжает погружаться, а останавливается и остается как бы подвешенной в той впадине, которая образовалась в воде от ее тяжести? Отвечаю: по той причине, что



Фиг. 8.

при погружении пластинка, после того как поверхность ее придет в соприкосновение с водой, теряет часть своего веса, а остальной вес утрачивает по мере погружения и опускания ниже уровня воды, которая образует со всех сторон род валика; и такая потеря происходит вследствие того, что пластинка увлекает и опускает с собою прилегающий к ней воздух, который затем и заполняет впадину между валиками воды; в этом случае опускается и помещается в воде не только одна дощечка из эбена или железа, но соединение эбена или железа и воздуха, почему и получается тело, уступа-

ющее по тяжести воде, обратно тому, что имеет место для простого эбена или золота. И если внимательно рассмотрим, каково в качественном и количественном отношении то тело, которое в данном опыте входит в воду, составляя противовес ее тяжести, то найдем, что к нему принадлежит все то, что находится ниже уровня воды, т. е. что это есть агрегат, или соединение, например эбеновой дощечки и почти такого же объема воздуха, свинцовой пластинки и десяти или двенадцати равных ей объемов воздуха и т. д. Но, синьоры противники, в нашем вопросе предполагается тождество вещества; изменению могла подлежать только фигура; поэтому отнимите этот воздух, который, соединяясь с дощечкой, делает ее другим телом, более легким, чем вода, и положите в воду простой эбен; наверное, вы увидите, что дощечка пойдет на дно; если же этого не случится, то вы выиграли спор. А чтобы отделить воздух от эбена, нам достаточно будет слегка смочить тою же водой поверхность взятой дощечки, потому что, как только между дощечкой и воздухом будет помещена вода, другая окружающая вода без помехи сольется с нею и примет в себя, как то и подобает, один простой эбен.

Но я уже предчувствую, как кто-нибудь из противников возражает, что они и не ожидали ничего иного, раз дощечка была смочена, так как прибавленный вес воды делает пластинку более тяжелой,

чем прежде, и тянет ее на дно, но что добавление веса противно нашему условию, согласно которому вещество должно оставаться тем же самым.

На это отвечаю, во-первых, что, рассматривая вопрос относительно влияния формы на тела, помещенные в воду, никто не должен ставить условием помещение их в воду без смачивания; со своей стороны я не требую ничего иного, кроме того, чтобы с дощечкою поступали так же, как с шариком. Сверх того, неверно, что дощечка идет ко дну в силу прибавления новой тяжести только от того, что она слегка смочена водою, потому что я могу налить на дощечку, пока она находится на поверхности, десять или двадцать капель воды, и эти капли, если они не соединятся с окружающей водою, не отягчат ее настолько, чтобы она потонула; но, если вынуть дощечку и, стряхнув с нее всю налитую на нее воду, одной только мельчайшей каплею смочить ее поверхность и опять положить дощечку на воду, то она, без сомнения, потонет, так как окружающая вода притечет и покроет ее, не задерживаемая более воздухом, каковой, вследствие введения легкого покрова воды, мешающего его непосредственному соприкосновению с эбеном, беспрепятственно отделяется и совсем не противится притоку воды. Иначе говоря, пластинка опустится свободно потому, что вся окажется окруженной и покрытой водою, как только ее верхняя часть, уже смоченная водою, коснется уровня общей

поверхности воды. Говорить, что вода может увеличить тяжесть тел, в ней помещающихся, совершенно нелепо, так как вода в воде не имеет никакой тяжести, ибо она в ней не опускается. Поэтому, если захотим хорошенько рассудить, какое действие оказывает некоторое огромное количество воды, расположенное над находящимся в ней тяжелым телом, то найдем по опыту, что она, наоборот, скорее уменьшает, и в значительной мере, его вес; мы можем поднять в воде со дна тяжелый камень, а, удалив воду, не сможем сделать этого. На это мне возразят, что, хотя расположенная поверх находящихся в ней тел вода не прибавляет им тяжести, но она прибавляет тяжесть тем, которые плавают и находятся частью в воде, частью в воздухе, как то видим на примере медного сосуда, который, пока не содержит воды и наполнен воздухом, остается на поверхности, но налитый водою становится таким тяжелым, что опускается на дно — и это по причине прибавления новой тяжести. На это я отвечу, как и ранее, что не тяжесть воды, содержащейся в сосуде, тянет его на дно, но собственная тяжесть меди, превосходящей по удельному весу воду, и что если бы сосуд был сделан из вещества легче воды, то океана было бы недостаточно, чтобы его потопить. Да позволено мне будет вновь подчеркнуть как основной и главный пункт нашего вопроса, что воздух, содержавшийся внутри сосуда до заполнения его водою, и под-

держивал его на поверхности, ибо из него и меди образовалось соединение, более легкое, чем соответственный объем воды; место же, занимаемое сосудом, пока он плавает, равно не одной меди, но вместе и меди и воздуху, заполняющему часть сосуда, находящуюся ниже уровня воды. Когда затем наливается вода, то воздух вытесняется, и получается соединение меди и воды по удельному весу тяжелее простой воды, но вовсе не в силу налитой воды, которая не имеет большего удельного веса, чем всякая другая вода, а вследствие собственной тяжести меди и удаления воздуха. Если бы кто-нибудь утверждал, что медь, по природе своей тонущая, будучи обделана в форму сосуда, приобретает от такой фигуры способность оставаться на воде, не опускаясь, я скажу, что это неверно, потому что медь, обделанная в любую фигуру, всегда тонет, лишь бы то, что опускается в воду, было простой медью; что не фигура сосуда заставляет плавать медь, но то обстоятельство, что опускается в воду не просто медь, но агрегат меди и воздуха. Так же не менее ложно и то, что тонкая пластинка из меди или эбена плавает в силу широкой и плоской фигуры, но вполне верно, что она остается, не погружаясь, потому что опускается в воду не чистая медь или простой эбен, но агрегат меди и воздуха или эбена и воздуха. И это несколько не противно моим заключениям, когда я, тысячу раз наблюдая металлические сосуды и тонкие пластинки

тяжелых веществ, плавающие в силу связанного с ними воздуха, утверждаю, что не фигура является причиною опускания или неопускания на дно тел, помещенных в воду. Не могу умолчать, но прямо скажу противникам, что их новое требование — не допускать, чтобы поверхность дощечки была смочена, — может навести лиц сторонних на мысль, что их аргументы в защиту своего мнения весьма скудны, тем более, что такое смачивание по существу нашего вопроса не должно бы огорчать их или вообще иметь какое-либо значение, так как спор возник относительно плавания льдин, сухость поверхности которых легко может быть оспариваема; к тому же, суха поверхность льда или смочена, льдины все же плавают и как утверждают противники, в силу их фигуры.

Может быть, кто-нибудь вздумает сказать, что после смачивания верхней поверхности эбеновой дощечки она, сама по себе неспособная разделить воду и проникнуть в нее, увлекается книзу, если и не тяжестью смачивающей воды, то, по крайней мере, тем стремлением и склонностью, которые верхние части воды имеют к соединению и слиянию, и стремлением этих частей дощечка некоторым образом увлекается книзу.

Но и такое возражение совсем отпадет, если принять во внимание, что, какова склонность верхних частей воды к соединению, таково же противодействие нижних частей к разъединению частиц:

ни верхние частицы не могут соединиться с нижними, не надавив книзу дощечку, ни последняя не может опуститься, не разделив частей находящейся ниже воды, откуда вытекает как необходимое следствие, что по подобным причинам дощечка не должна опуститься. Притом же все только что сказанное о верхних частях воды с таким же правом может быть отнесено и к нижним, которые, стремясь к соединению, выталкивают дощечку кверху.

Может быть, кто-нибудь из синьоров, не согласных со мною, удивится моему утверждению, что прилегающий сверху воздух в состоянии поддержать пластинку меди или серебра, которая держится на воде; выходит, точно я хочу приписать воздуху как бы свойство магнита — поддерживать тяжелые тела, с которыми он соприкасается. Желая, насколько это мне возможно, разрешить все затруднения, я думал, каким бы иным наглядным опытом показать, что действительно малое количество прилегающего сверху воздуха поддерживает тела, которые, будучи по природе своей склонными опуститься на дно, положенные легко на воду, не тонут, если ранее не смочены водою; и я нашел, что, если такое тело опустилось на дно, то, ничем не трогая его, но прибавив к нему в небольшом количестве воздух, который бы прикоснулся к его вершине, можно добиться не только того, что, как мы видели ранее, воздух будет поддерживать тело, но даже поднимет и поведет его вверх, где оно

остановится и будет пребывать в покое, пока не отнимется помощь соприкасающегося с ним воздуха. Для этого опыта я взял восковой шарик с чистой и гладкой поверхностью и сделал его путем прибавления свинца настолько тяжелым, чтобы он очень медленно опускался на дно; осторожно положенный в воду, он погружается почти весь, оставляя видной только верхушку, которая, пока соприкасается с воздухом, поддерживает шарик наверху; но, если отнять этот воздух, смочив шарик, то последний опускается на дно и там остается. Постараемся теперь той же силой воздуха, которая поддерживала шарик, привести его обратно наверх и там задержать. Для этого опустим в воду отверстием вниз опрокинутый стакан, который захватит с собою заключающийся в нем воздух; направляя его сперва к шарiku и опуская до тех пор, пока не заметим через прозрачное стекло, что содержащийся в стакане воздух достиг верхушки шарика, медленно вынем затем стакан; при этом мы увидим, что и шарик поднимется и остановится наверху, если отделим стакан от воды так осторожно, чтобы она не взволновалась. Следовательно, между воздухом и другими телами существует известная связь, которая держит их в некотором соединении, так что они отделяются друг от друга только с известным усилием. Подобное же явление наблюдается и с водою: если погрузим в нее какое-нибудь тело так, чтобы оно омылось кругом водою, то, вынимая его осторожно обратно, уви-

дим, как вода последует за ним и поднимется заметно над своей поверхностью, прежде чем отделится от тела. Точно так же и твердые тела, имеющие совершенно одинаковую поверхность и столь плотно прилегающие одно к другому, что между ними не остается воздуха, который, рассеиваясь при их разделении, позволяет окружающей среде заполнять образующееся между телами пространство, — крепко соединяются и отделяются друг от друга только с большим усилием. Но, так как воздух, вода и другие жидкости при прикосновении к твердым телам весьма легко облекают их, причем их поверхность в совершенстве уподобляется поверхности облекаемого твердого тела, то поэтому на них чаще и нагляднее обнаруживается действие этого притяжения, чем на телах твердых, поверхности которых редко прилегают одна к другой надлежащим образом. Такова, следовательно, та магнетическая сила, которая плотно соединяет все тела, соприкасающиеся при отсутствии между их поверхностями податливых жидкостей; и, кто знает, не это ли теснейшее соприкосновение является достаточной причиной единства и связности частей всех тел в природе?

Теперь, продолжая мое рассуждение, скажу: не следует ссылаться на связность частей воды между собою, благодаря которой они сопротивляются и противодействуют разделению и рассеиванию, потому что такой связности и противодействия не суще-

ствует; если бы они существовали, то во внутренних слоях воды они сказывались бы не в меньшей степени, нежели в ближайших к поверхности, так что та же дощечка, встречая всюду одинаковое противодействие и задержку, могла бы останавливаться равно хорошо среди воды, как и на поверхности, чего не бывает на самом деле. К тому же какое сопротивление разделению можно приписать воде, если мы видим, что невозможно найти такое тело, какого бы то ни было состава, формы и величины, которое, помещенное в воду, осталось бы неподвижным благодаря связности частей воды между собою, а не двигалось вверх и вниз сообразно имеющей в данном случае место причине движения? И какого лучшего опыта в подтверждение сказанного будем искать, когда ежедневно видим, как вода для питья, налитая в сосуды, мутная в течение нескольких часов, по прошествии четырех-шести дней становится совершенно чистой и прозрачной? Ее сопротивление не может задержать даже тончайших неосязаемых атомов песка, которые по своей ничтожности употребляют шесть дней, для того чтобы опуститься вниз на пространство в пол-локтя.

Кто-нибудь может сказать, что ясным доказательством сопротивления воды разделению и является то, что такие легкие тельца употребляют шесть дней, чтобы опуститься на такое короткое пространство; но это не противодействие разделению, а лишь замедление движения, и было бы наивно

говорить, что какое-нибудь тело противится разделению и в то же время допускает себя разделить. Для противников недостаточно приводить случаи замедленного движения, им необходимо найти пример, где движение совершенно устраняется, и наступает покой; необходимо, следовательно, найти такие тела, которые останавливались бы в воде, указывая тем на ее сопротивление разделению, а не только такие, которые движутся с замедлением. Какова же эта плотность воды, в силу которой она противится разделению? Какое суждение будем мы иметь о ней (о чем я говорил и раньше) после того, как, стараясь со всей тщательностью привести вещество настолько близко по весу к воде, чтобы оно, хотя бы в форме широкой пластинки, осталось подвешенным между водяными слоями, — не можем достигнуть этого, хотя и подойдем к тождеству веса настолько близко, что количество свинца, составляющее четвертую часть тысячной доли грана, прибавленное к этой широкой пластинке, весящей на воздухе от четырех до шести фунтов, заставляет его тонуть, а отнятое — подниматься на поверхность? Я не знаю (если правильно то, что мною сказано, а это несомненная истина), какую ничтожную способность или силу надо отыскать или вообразить, чтобы противодействие воды разделению и рассеянию ее частиц было не меньше этой силы, из чего необходимо заключить, что противодействие это равно нулю. Если бы оно действительно было сколько-

нибудь осязательным, то мы могли бы сделать из вещества, по тяжести равного воде, такую широкую пластинку, которая не только оставалась бы между водяными слоями, но и не могла бы без значительного усилия опуститься или подняться. Ту же истину мы можем извлечь из другого опыта, показав, как вода подобным же образом поддается разделению поперек. Если в спокойную стоячую воду поместим какое-нибудь плавающее тело огромного объема и потянем его осторожно, помощью хотя бы одного женского волоса, то мы сможем перевести его с одного места на другое без всякого препятствия, хотя бы фигура его была любая, захватывающая большое пространство воды (например большое бревно, положенное поперек). Кто-нибудь может возразить мне, что если бы сопротивление воды разделению равнялось, как я утверждаю, нулю, то кораблям не требовалось бы столько силы весел и парусов, чтобы передвигаться с места на место даже в спокойном море или в стоячих озерах. Тому, кто сделал бы подобное возражение, я отвечу, что вода противится и противодействует не просто разделению, но быстрому разделению, с тем большею силою, чем больше скорость. Причина такого противодействия заключается вовсе не в плотности или другом свойстве, абсолютно противящемся разделению, но в том, что разделяемые части воды, чтобы дать место телу, которое в ней движется, должны перемещаться частью направо, частью налево и еще частью

вниз, и это делается не только с частями воды, расположенными впереди корабля или другого тела, плывущего по воде, но и с теми, которые расположены позади и следуют за ним, потому что корабль в своем движении вперед, чтобы освободить место, способное вместить его объем, должен носовой частью оттеснить ближайшие части воды направо и налево, передвигая их в этом направлении на пространстве до половины своего корпуса; и такой же обратный путь должны пройти части воды, которые, следуя за кормом, устремляются от наружных частей судна к середине, чтобы последовательно заполнять места, которые корабль освобождает при движении вперед. Теперь, так как все движения совершаются во времени, и более длинное пространство тело проходит и в более продолжительный срок, так как, далее, признано за истину, что тело, движущееся с определенной силою и проходящее в некоторое время определенное пространство, может пройти такое же пространство в более краткий срок лишь при условии приложения большей силы, то понятно, почему более широкие суда движутся медленнее, чем узкие, если движущая сила одинакова, и почему судно требует тем большей силы весел или ветра, чем быстрее оно должно двигаться.

И не существует плавающего в воде тела такого большого размера, чтобы оно не могло быть приведено в движение помощью ничтожной силы; верно лишь то, что меньшая сила движет его медленнее,

но, если бы сопротивление воды разделению было хотя в какой-нибудь мере ощутительно, следствием было бы то, что этот объем при известной ощутительной силе сопротивления остался бы совершенно неподвижным, чего не случается. Скажу более, когда мы займемся более внимательным исследованием природы воды и других жидкостей, то мы, быть может, откроем, что строение их таково, что они не только не противятся разделению, но что в них нет ничего, что подлежало бы разделению; сопротивление, ощущаемое при движении в воде, может быть уподоблено тому затруднению, какое мы испытываем, продвигаясь через большую толпу народа, где встречаем препятствие не вследствие трудности разделения, так как мы не разделяем никого из составляющих толпу, но вследствие необходимости раздвигать в стороны отдельных и несвязанных друг с другом людей; такое же сопротивление мы испытываем, вытаскивая дерево из песчаной кучи, не потому, что надо разделять части песка, а потому, что надо поднимать и передвигать их. Существуют два рода проникновения одних тел через другие: одно — через тела, части коих связаны, откуда неизбежно вытекает необходимость их разделения, другое — через тела, представляющие агрегат частиц, не связанных, а только прилегающих друг к другу; здесь требуется не разделение, но лишь передвижение. Пока я еще не решил окончательно, следует ли считать воду и другие жидкости состо-

ящими из частиц, связанных или только прилегающих друг к другу; скорее я склонен признать частицы их только прилегающими друг к другу (если в природе нет других родов соединения, кроме связности и тесного соприкосновения), к чему приводит меня нахождение большого различия между соединением частей твердого тела и соединением этих же частей, когда то же самое тело сделано жидким и текучим. Если, например, я возьму кусок серебра или другого металла в холодном и твердом виде, то, разделяя его на две части, я почувствую сопротивление не только такое, какое чувствовалось бы при передвижении их, но несравненно большее, зависящее от величины той силы, — каково бы ни было ее существо, — которая держит частицы связными; если захотим разделить обе половины на две части и так последовательно далее, то постоянно будем встречать подобное же сопротивление, но тем меньшее, чем мельче разделяемые части; когда же, наконец, мы прибегнем к тончайшим и острейшим инструментам, каковы тончайшие частицы огня, и посредством их расплавим металл до последних его мельчайших частиц, то в них не останется более не только сопротивления разделению, но даже и возможности к дальнейшему разделению, по крайней мере, орудиями более грубыми, чем частицы огня; какая пила или нож, погружаемые в хорошо расплавленное серебро, найдут что-либо для деления после участия огня? Все вещество уже будет

приведено к тончайшим неделимым частицам; если при этом все же останутся части, способные к дальнейшему делению, то достигнуть его мы можем не иначе, как через посредство делительных инструментов еще более острых, чем огонь; но не таковы железные прутки и пластинки, которыми мы мешаем расплавленный металл. Я признаю в воде и других жидкостях такое же строение и расположение частиц и неспособность последних к разделению по причине их тончайшей сущности; если они и не окончательно неделимы, то, по крайней мере, не могут быть разделены доскою или другим твердым телом, служащим орудием в наших руках, так как режущее орудие должно быть тоньше разделяемого твердого тела. Итак, твердые тела, плавающие в воде, только движутся в ней, но не разделяют ее частей, которые уже разделены до крайних пределов и только в силу тесного прилегания держатся вместе; эти мельчайшие частицы дают место каждому малому телу, которое опускается в воду, ибо как бы мало и легко оно ни было, спустившись из воздуха и достигнув поверхности воды, оно находит еще более мелкие частицы воды с еще меньшим сопротивлением движению и вытеснению их, чем его собственная давящая и вытесняющая сила, почему оно и погружается и приводит в движение соответствующую своей силе часть воды. Таким образом в воде нет никакого сопротивления разделению, так как нет частиц, которые могли

бы быть разделяемы. Теперь добавлю, что если бы мы нашли какое-либо малейшее сопротивление (что совершенно ложно), желая при помощи волоса привести в движение большое плавающее тело или прибавлением ничтожной части свинца опустить на дно и, обратно, отнятием свинца заставить подняться на поверхность большую пластинку вещества, близкого к воде по тяжести (чего также не случится, если действовать осторожно), то необходимо заметить, что это сопротивление есть нечто совсем отличное от того, которое противники приводят как причину плавания полосок свинца или эбеновых дощечек, потому что можно сделать эбеновую доску, которая, будучи положена на воду, станет плавать, и чтобы потопить ее, недостаточно будет и ста гран свинца; но если потом смочить эту доску водою, то она не только опустится без всякого свинца, но и никакая пробка или другое легкое тело, прикрепленное к ней, не сможет удержать ее от погружения на дно. Отсюда видно, что если мы даже допустим наличность в субстанции воды какого-то малого сопротивления разделению, то оно совершенно ничтожно по сравнению с причиной, удерживающей на воде дощечку и обладающей силою в сто тысяч раз большей той, какую можно предположить в частицах воды. Пусть также не говорят мне, что только поверхность воды обладает свойством сопротивления, а не внутренние части, или что такое сопротивление, вероятно, больше при

начале разделения, как то, повидимому, имеет место при движении, когда тело оказывает более сопротивления при начале движения, нежели при продолжении его, потому что, во-первых, я предложу привести воду в движение и перемешать верхние слои со средними и нижними, или, устранив верхние слои, воспользоваться только средними — все равно, результат получится одинаковый. Волос, тянущий по воде бревно, должен разделять именно верхние ее части и также начать движение, и все же он начинает его и разделяет воду; наконец, поместив дощечку среди воды, продержим ее там в покое некоторое время, а затем опустим; она тотчас же начнет движение вниз и продолжит его до самого дна; но и дощечка, остающаяся поверх воды, не должна начинать движения или разделения водяных частиц, так как на известную глубину она уже погрузилась.

Итак, признаем правильным и несомненным тот вывод, что вода не оказывает никакого сопротивления простому разделению и что невозможно найти такое твердое тело, какой бы то ни было формы, которое, будучи помещено в воду, было бы лишено возможности благодаря плотности последней двигаться вниз или вверх сообразно тому, превосходит ли оно воду по весу или уступает ей, хотя бы такой излишек или разница в весе были совершенно нечувствительны. Когда же мы видим, как доска из эбена или другого вещества тяжелее воды оста-

навливается на границе воды и воздуха, не погружаясь, то, чтобы открыть причину такого явления, мы должны будем прибегнуть к чему-либо другому, а не к широте фигуры, неспособной преодолеть сопротивления, оказываемого водою разделению, ибо такого сопротивления не существует, а тому, что не существует, нельзя приписывать никакого действия.

Итак, остается признать правильным то, что уже было сказано выше, а именно: указанное явление происходит по той причине, что помещается в воду не то тело, которое тонет, ибо тонет чистая эбеновая доска, которая, будучи тяжелее воды, идет ко дну, — кладется же на воду в этом случае соединение эбена и некоторого количества воздуха, которое по удельному весу легче воды и потому не опускается.

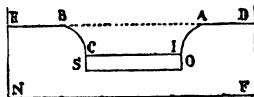
Подтверждаю еще более то, что сказано. Мы согласились, синьоры противники, что тяжесть твердого тела, большая или меньшая по отношению к тяжести воды, есть истинная и действительная причина его движения в воде вниз и вверх. Теперь, если вы желаете показать, что кроме названной причины существует еще другая, обладающая такой силой, что может помешать движению ко дну опускающегося в силу своей тяжести тела или даже изменить это движение, и выставляете как такую причину ширину фигуры тела, вы обязаны каждый раз, как хотите показать опыт, сначала удостовериться, что тело, помещаемое вами в воду,

действительно по удельному весу не легче воды, ибо, если вы этого не сделаете, каждый с основанием может сказать, что не фигура, а легкость тела есть причина его плавания. Но я говорю вам, когда вы показываете нам, как кладете в воду эбеновую дощечку, что в действительности вы кладете в воду тело по удельному весу не большее, но меньшее воды, ибо вместе с эбеном идет в воду некоторый объем воздуха в соединении с дощечкою, который настолько легок, что из обоих образуется соединение легче воды; отнимите теперь воздух и положите в воду один эбен, т. е. тело тяжелее воды, и если оно не пойдет ко дну, то вы рассуждаете правильно, я же ошибался.

Теперь, после того как нами найдена истинная причина плавания тел, которые как более тяжелые должны бы были идти ко дну, мне кажется, что для полного и ясного познания этого вопроса было бы хорошо на опыте раскрыть те особые условия, с которыми связаны подобные явления, рассмотрев, какие пропорции должны иметь разные фигуры из разных веществ в соответствии с тяжестью воды, чтобы в силу пристающего к телу воздуха удерживаться на поверхности.

Для большей ясности представления предположим, что мы имеем сосуд $DFNE$ (фиг. 9), содержащий воду, и пластинку или дощечку, размер которой определяется линиями IC , OS ; пусть она сделана из вещества тяжелее воды, так что при помещении

на поверхность воды она опускается ниже уровня воды в сосуде, оставляя по сторонам валики AI , BC предельной величины, т. е. такой, что если пластинка опустится еще хотя на самое ничтожное расстояние, то валики не удержатся, но, вытеснив воздух $AICB$, растекутся над поверхностью IC и затопят пластинку. Величина AI или BC есть, следовательно, наибольшая глубина, которую допускают валики воды. Теперь я говорю, что на основании этой величины и отношения веса веществ к весу воды мы легко можем найти, какой предельной толщины могут достигать названные пластинки из



Фиг. 9.

разного материала, чтобы продолжать удерживаться на воде. Положим, что вещество пластинки IS будет в ν раз тяжелее воды; в таком случае пластинка из этого вещества может иметь толщину, приблизительно равную высоте AI , что докажем следующим образом. Пусть тело IS по удельному весу в ν раз тяжелее воды и имеет форму правильной призмы или цилиндра, т. е. имеет две плоских поверхности, верхнюю и нижнюю, совершенно сходные, равные и перпендикулярные к боковым поверхностям; пусть, далее, толщина его — IO равна максимальной высоте валиков воды. Утверждаю, что, будучи положено на воду, тело это не потонет, ибо, если высота AI равна высоте IO , то объем воздуха $ABCI$ будет равен объему тела $CIOS$, и весь объем $AOSB$ — двойному объему

IS; а так как объем воздуха *AC* не увеличивает и не уменьшает тяжести объема *IS*, и взятое нами тело *IS* вдвое тяжелее воды, то отсюда вытекает, что количество воды, занимающее пространство объема *AOSB*, состоящего из воздуха *AICB* и твердого тела *IOSC*, весит ровно столько же, сколько весит весь погружившийся объем *AOSB*. Но когда объем воды, равный объему погружившейся в воду части твердого тела, весит столько же, сколько все это тело, то оно более не опускается, но останавливается, как было доказано Архимедом, а также и нами; следовательно, тело *IS* не опустится более, но остановится.

Если тело *IS* будет превосходить воду по удельному весу в полтора раза, то оно останется наверху все время, пока его толщина не превысит двойной предельной высоты валиков, т. е. *AI*. Так как вес тела *IS* равен полуторному весу воды, а высота *OI* равна двойной высоте *IA*, то погружившееся тело *AOSB* будет по объему в полтора раза более тела *IS*. А так как воздух *AC* не увеличивает и не уменьшает веса тела *IS*, то количество воды, занимающее пространство погружившегося объема *AOSB*, весит столько же, сколько этот погружившийся объем; следовательно, объем этот остановится. И вообще всякий раз, когда отношение излишка удельного веса тел над весом воды к весу воды будет равно отношению высоты водяного валика к толщине тела, последнее не пойдет ко дну, при несколько же большей толщине — потонет.

Если тело IS тяжелее воды и имеет такую толщину, что отношение высоты валика AI к толщине тела IO равно отношению излишка веса этого тела IS над весом объема воды, равного объему IS , к общему весу объема воды, равного объему IS , то утверждаю, что тело IS не потонет, при всякой же большей толщине пойдет ко дну. Как AI относится к IO , так и излишек веса тела IS над весом объема воды, равного объему IS , относится к такому же объему воды, откуда вытекает, что как AO относится к OI , так и вес тела IS относится к весу воды, взятой в объеме, равном IS ; обратно, отношение веса воды в объеме IS к весу тела IS будет равняться отношению IO к OA , но как IO относится к OA , так относится и объем воды IS к объему воды, равному объему $ABSO$, или вес объема воды IS к весу объема воды AS ; следовательно, вес тела IS равен весу объема воды, равного объему AS ; но вес тела IS тот же, что и вес тела AS , составленного из тела IS и воздуха $ABCI$; с другой стороны, все составное тело $AOSB$ весит столько же, сколько весит вода, которая занимала бы место этого соединенного тела $AOSB$; а посему получится равновесие и покой, и тело $IOSC$ более не погрузится ¹². Если бы толщина тела увеличилась, то следовало бы увеличить и высоту валиков AI , чтобы сохранить требуемую порцию; но согласно условию высота валика AI есть наибольшая, какую только допускает природа воды и воздуха; при увеличении

ее вода вытеснит воздух, прилегающий к поверхности тела IC , и заполнит пространство $AICB$. Следовательно, тело большей толщины, чем IO , и того же вещества, как тело IS , не останется наверху, но опустится на дно, что и требовалось доказать. Из только что мною доказанного могут быть сделаны многие выводы, подтверждающие истинность моего основного положения, которые также покажут, насколько несовершенны были до сего времени наши суждения по данному вопросу.

Прежде всего из доказанного вытекает, что все вещества, даже самые тяжелые, могут удерживаться на воде, не исключая и золота, самого тяжелого из всех известных нам тел. Приняв во внимание, что вес золота в двадцать раз больше воды, и определив максимальную высоту валика, который может образовать вода, не разрушая воздушного покрова, одевающего поверхность помещаемого на воду тела, сделаем золотую пластинку такой толщины, чтобы последняя не превышала девятнадцатой части высоты названного валика; пластинка, положенная осторожно на воду, останется на поверхности, не опускаясь на дно. Если, например, взять эбен, удельный вес которого относительно воды равен одной и одной седьмой, то наибольшая толщина, какую можно придать эбеновой дощечке, чтобы она оставалась, не погружаясь, будет в семь раз больше высоты валика; медь же, которая в восемь раз тяжелее воды, будет плавать всякий раз, когда

толщина ее пластинки не превысит одной седьмой части высоты валика.

Не хочу обойти молчанием и не отметить как побочный вывод из только что доказанного, что ширина фигуры не только не является причиною плавания тяжелых тел, которые в ином виде погружаются, но и не влияет нисколько на определение того, каковы должны быть те пластинки из эбена, железа или золота, которые могут оставаться на поверхности; при таком определении следует принимать во внимание одну лишь толщину фигур из эбена, золота и т. д., оставляя совершенно в стороне соображения о длине и ширине как величинах, не оказывающих никакого влияния на данное явление. Уже было показано, что причиною плавания указанных пластинок служит единственно уменьшение их веса по отношению к весу воды благодаря присоединению воздуха, который вместе с ними опускается и занимает место в воде; когда это место, занятое в воде ранее, чем окружающая вода разольется и заполнит его, вытесняет столько воды, сколько весит пластинка, то она остается подвешенной на воде и не тонет. Теперь видно, от которого из трех измерений тела зависит решение вопроса — каков должен быть объем тела, дабы помощи присоединенного к нему воздуха было достаточно, чтобы сделать его по удельному весу легче воды, отчего оно и останется непогруженным; мы нашли, что длина и ширина несомненно не принимают никакого участия

в этом определении, но единственно высота; так что если взять пластинку или дощечку, например из эбена, толщина которой находилась бы в определенной нами пропорции к предельной высоте водного валика, то она будет плавать, чего не случится при увеличении ее толщины; скажу, далее, что, сохраняя ее прежнюю толщину, мы можем увеличить ее поверхность в два, четыре, десять раз или уменьшить ее разделением на четыре, шесть, двадцать или даже сто частей — и все же она останется таким же образом на поверхности. Но, если хотя на один волос увеличится ее толщина, то она потонет, хотя бы поверхность ее увеличилась в сотни и тысячи раз. Итак, истинная причина есть та, присутствие которой производит данное действие, а отсутствие прекращает его; увеличение же или уменьшение каким бы то ни было способом ширины и длины тела не производит и не задерживает опускания на дно; следовательно, большее или меньшее развитие поверхности не оказывает никакого влияния на то, пойдет ли тело ко дну или нет. Тот факт, что при сохранении указанным выше способом найденной пропорции между высотой валика воды и высотой тела большая или меньшая поверхность не вносит никакой разницы, вытекает из доказанного выше, а также из того, что объемы призм и цилиндров с одинаковым основанием относятся друг к другу, как их высоты; поэтому все цилиндры и призмы, большие и малые дощечки, если только

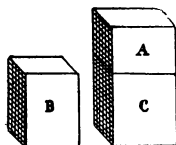
все они имеют одинаковую толщину, сохраняют одно и то же отношение к прилежащему воздуху, имеющему основанием поверхность дощечки, а высоту — высоту водяного валика, так что из дощечки и воздуха постоянно получаются тела, одинаковые по весу с весом воды, взятой в объеме этих тел, составленных из воздуха и дощечки; поэтому-то все такие тела и остаются на поверхности.

Заметим себе, в-третьих, что всякая фигура из какого угодно вещества, даже тяжелее воды, может благодаря валику удержаться от погружения на дно, но некоторые фигуры, хотя бы из тяжелейшего вещества, могут даже оставаться целиком над водой, смочив только нижнюю свою поверхность, соприкасающуюся с водой; такими именно будут все фигуры, которые от основания идут вверх суживаясь, чему в пример приведем теперь пирамиды и конусы, имеющие между собою много общего. Итак, покажем, как можно сделать пирамиду или конус какого угодно предложенного вещества, которые, будучи опущены основанием на воду, не только не тонут, но остаются, смочив водою только свое основание. Для объяснения этого необходимо сначала доказать следующую лемму, а именно:

тела, объемы которых обратно пропорциональны их удельному весу, равны между собою по абсолютному весу.

Пусть даны два тела AC и B (фиг. 10), причем объем AC так относится к объему B , как удельный

вес тела B к удельному весу тела AC . Утверждаю, что абсолютный вес тел AC и B одинаков, т. е. что они равны по тяжести. Если бы объем AC был равен объему B , а удельный вес B был бы равен удельному весу AC , то тогда оба тела, будучи равными как по объему, так и по удельному весу, весили бы одно совершенно столько же, сколько другое. Но объемы тел не равны; объем AC больше, и пусть в нем часть C равна по объему B . Так

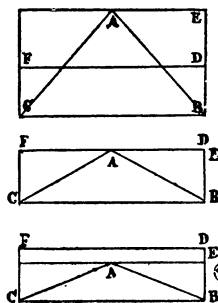


Фиг. 10.

как объемы B и C равны, то абсолютный вес B будет относиться к абсолютному весу C так же, как удельный вес B относится к удельному весу C или же к удельному весу CA , ибо у последних он одинаков; но какое отношение существует между удельным весом B и удельным весом CA , такое же по заданию существует между объемами CA и B или CA и C , равным B ; итак, абсолютный вес B относится к абсолютному весу C так же, как объем CA относится к C ; но каково отношение объема CA к C , таково же и отношение абсолютного веса AC к абсолютному весу C ; следовательно, между абсолютными весами тел B и C существует то же отношение, что и между абсолютными весами тел AC и C ; следовательно, два тела AC и B имеют совершенно одинаковый абсолютный вес, что и требовалось доказать ¹³.

Доказав это, утверждаю, далее, что из любого

предложенного вещества возможно сделать пирамиду или конус с любым основанием, которые, будучи опущены на воду, не потонут и смочат в воде только свое основание. Пусть максимальная возможная высота валика будет DB (фиг. 11), а диаметр основания конуса, сделанного из какого-либо определенного вещества, — линия BC , перпендикулярная к DB . Предположим, что то отношение, которое существует между удельным весом вещества, из коего сделан конус или пирамида, и удельным весом воды, равно отношению высоты валика DB к одной трети высоты пирамиды или конуса ABC , построенных на основании с диаметром BC ; утверждая, что такой конус ABC и всякий другой, меньшей высоты, останутся на поверхности воды, не погружаясь. Проведем линию DF , параллельную BC , и построим призму или цилиндр EC , который будет в три раза более конуса ABC . Цилиндр DC относится к цилиндру EC так же, как высота DB к BE , цилиндр же CE относится к конусу ABC , как высота EB к третьей части высоты конуса; поэтому цилиндр DC относится к конусу ABC , как высота DB к трети высоты BE ; но отношение DB к трети BE есть отношение удельного веса конуса ABC к удель-

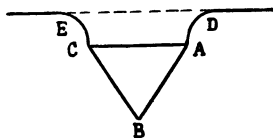


Фиг. 11.

ному весу воды; следовательно, отношение объема тела DC к объему конуса ABC равно отношению удельного веса этого конуса к удельному весу воды; поэтому на основании предыдущей леммы конус ABC абсолютно весит столько же, сколько объем воды, равный объему DC ; но вода, которая опусканием конуса ABC вытесняется со своего места, занимает как раз место DC и по весу равняется давящему на нее конусу; поэтому установится равновесие, и конус останется без дальнейшего погружения. Ясно, что если мы сделаем при том же основании конус меньшей высоты, то он будет легче и тем скорее останется непогруженным ¹⁴.

Ясно также, как могут быть построены конусы и пирамиды из любого вещества тяжелее воды, которые, будучи помещены в воду вершиною или острием вниз, останутся, не погружаясь на дно. Припомним все то, что было доказано выше относительно призм и цилиндров, и построим на основаниях, одинаковых с основанием этих цилиндров, конусы из того же вещества, но в три раза выше; они останутся наверху, так как по весу и объему они будут равны цилиндрам, а имея одинаковое с ними основание, захватят наверху одинаковые объемы воздуха, содержащегося между валиками. То, что в виде примера доказано относительно призм, цилиндров, конусов или пирамид, может быть доказано и относительно тел всякой иной формы, но для этого пришлось бы написать целый том, если пожелать

включить туда специальные доказательства для всех тел и их отрезков (так велико их число и разнообразие свойств и признаков). Чтобы не растягивать настоящего трактата до бесконечности, я хотел бы ограничиться тем, что сказано выше, полагая, что каждый, обладающий хотя бы средним развитием, понял, что нет такого тяжелого вещества, вплоть до самого золота включительно, из которого нельзя было бы сделать разнообразных фигур, остающихся подвешенными и не опускающихся на дно в силу пристающего к ним верхнего воздуха, но отнюдь не вследствие сопротивления воды проникновению. Чтобы устранить такое заблуждение, я покажу, далее, как конус или пирамида, помещенные вершиною вниз,

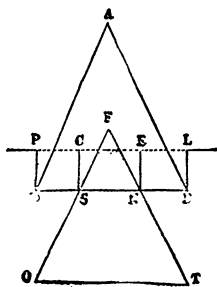


Фиг. 12.

не пойдут ко дну, и они же, помещенные основанием вниз, потонут, и будет невозможно заставить их подняться на поверхность. Если бы именно трудность разделить воду задерживала опускание, должно было бы случиться как раз обратное, так как тот же конус гораздо более приспособлен разделять и проникать в воду своей острейшей верхней частью, нежели широким плоским основанием.

Для того чтобы доказать это, возьмем конус ABC (фиг. 12) по удельному весу в два раза больше воды, и пусть высота его будет равна тройной высоте валика $DACE$. Утверждаю, во-первых, что

помещенный осторожно в воду вершиной вниз конус не опустится на дно: воздушный цилиндр, заключающийся между валиками $DACE$, равен по объему конусу ABC , так что весь объем тела, составленного из воздуха $DACE$ и конуса ABC , будет вдвое более конуса ABC ; так как конус ABC сделан из



Фиг. 13.

вещества вдвое тяжелее воды, то вода в объеме, занимаемом всем телом $DABCE$, помещающимся ниже уровня воды, весит столько же, сколько конус ABC ; отсюда установится равновесие, и конус ABC не потонет.

Далее, утверждаю, что тот же конус, помещенный основанием в воду, упадет на дно, и невозможно, чтобы он каким бы то ни было образом остался на поверхности. Так, пусть конус ABD (фиг. 13) будет по удельному весу вдвое тяжелее воды, а высоты его — втрое более высоты валика LB . Как уже было выяснено выше, то, что тяжелее воды, не остается на ее поверхности; но так как цилиндр, заключающийся между валиками $LBDP$, равен конусу ABD , а вещество конуса вдвое тяжелее воды, то ясно, что вес этого конуса будет в два раза больше, чем вес объема воды, равного цилиндру $LBDP$, почему конус не останется в прежнем положении, но потонет.

Говорю, далее, что во многих случаях конус остановится, погрузившись частью в воду, что можно понять путем сравнения с водою как затонувшей части тела, так и той, которая остается вне воды. Предположим, что у конуса ABD затопляется часть $NTOS$, выступает же над водой вершина NSF ; пусть высота конуса FNS будет равна половине всей высоты конуса FTO или менее половины. Если она будет превышать половину, то конус FNS будет более половины цилиндра $ENSC$, так как высота конуса FNS будет составлять более чем полторы высоты цилиндра $ENSC$. Так как по заданию вещество конуса по удельному весу вдвое тяжелее воды, то вода, содержащаяся между валиками $ENSC$, будет по абсолютному весу легче конуса FNS , откуда следует, что весь конус не может быть удержан валиком; находящаяся под водою часть $NTOS$, которая по удельному весу вдвое тяжелее воды, будет тянуть вниз, так что, наконец, весь конус FTO , т. е. как затонувшая, так и верхняя его часть пойдут ко дну. Если, далее, высота конуса FNS будет равна половине высоты конуса FTO , то эта же высота конуса FNS будет составлять полторы высоты EN , а посему $ENSC$ будет равен двойному конусу FNS ; вода в объеме, равном цилиндру $ENSC$, весила бы столько, сколько весит часть конуса FNS ; но так как другая затонувшая часть $NTOS$ вдвое тяжелее воды, то вода в объеме сложного тела, составленного из цилиндра $ENSC$ и

тела *NTOS*, будет весить меньше, чем конус *FTO*, именно на столько, сколько весит объем воды, равный телу *NTOS*; следовательно, конус еще опустится. Если, наконец, тело *NTOS* будет в семь раз более конуса *FNS*, цилиндр же *ES* будет вдвое более последнего, то отношение объема тела *NTOS* к цилиндру *ENSC* будет равно 7:2; следовательно, весь объем, составленный из цилиндра *ENSC* и тела *NTOS*, будет значительно меньше удвоенного объема тела *NTOS*; стало быть, одно тело *NTOS* весит более, нежели вода в объеме сложного тела *ENSC* и *NTOS*; отсюда вытекает, что, если даже отнять и устранить часть конуса, а именно *FNS*, то одно остающееся тело *NTOS* пойдет ко дну. И чем далее погружается конус *FTO*, тем более становится для него невозможным удержаться на поверхности при все увеличивающейся погружающейся части *NTOS* и уменьшающемся объеме воздуха, заключенного между валиками, которые сближаются, по мере того как конус утопает. Следовательно, такой конус, который, будучи обращен основанием вверх, а вершиной вниз, удерживается и не идет ко дну, при помещении в воду основанием вниз непременно затонет. Итак, далеки от истины суждения тех, кто видел причину плавания в сопротивлении воды разделению — принципе пассивном, и в ширине фигуры, которой вода должна быть разделена, — принципе действенном.

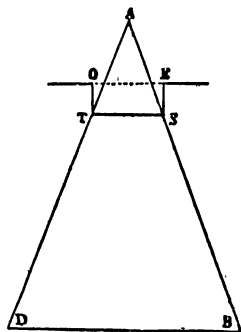
Перехожу теперь, в-четвертых, к установлению и доказательству моим противникам следующего

предложения, а именно, что возможно сделать твердые тела любой фигуры и любой величины, которые по природе своей идут на дно, но с помощью воздуха, содержащегося между валиками, остаются наверху, не погружаясь.

Истина этого предложения достаточно обнаруживается на примере всех твердых фигур, оканчивающихся в своей верхней части плоской поверхностью.

Если мы сделаем такие фигуры из какого-нибудь вещества, равного воде по удельному весу, и поместим их в воду, так что ею покроется весь объем, то ясно, что такие тела могут оставаться в покое во всяком месте при условии, что удельный вес материала в точности соответствует весу воды; вследствие этого они могут остаться и на поверхности воды, не образуя даже никакого валика. Теперь, если такие фигуры благодаря веществу, из коего они сделаны, способны оставаться на поверхности, хотя и лишены помощи валиков, то ясно, что можно настолько увеличить вес тел, не увеличивая их объема, на сколько велик вес воды, содержащейся внутри валиков, образующихся вокруг их верхней плоской поверхности; помощью валика они задержатся на поверхности, но, будучи смочены водою, пойдут на дно, сделавшись более тяжелыми, чем вода. Относительно фигур, кончающихся наверху плоскостью, вполне понятно, как приданный им или отнятый валик может устранить или вызвать опуска-

ние, но что касается тел, которые идут кверху утончаясь, то кто-нибудь может, и, повидимому, не без основания, усумниться, чтобы с ними можно было сделать то же самое, в особенности, если они оканчиваются острою вершиною, как, например, узкие конусы или пирамиды. Относительно этих последних как более сомнительных, чем все другие, я постараюсь доказать, что и они подчинены тому



Фиг. 14.

же условию опускания или неопускания на дно вне зависимости от величины.

Пусть ABD (фиг. 14) будет конус из вещества, равного воде по удельному весу; ясно, что помещенный весь в воду он останется в покое во всяком месте (предполагая, что он весит ровно столько же, сколько вода, чего на самом деле почти невозможно дости-

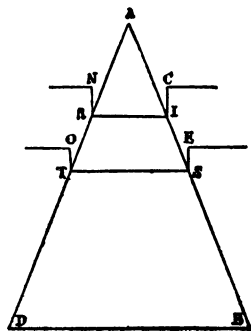
гнуть), при давлении же самой малой тяжести — пойдет ко дну. Но если он будет опускаться вниз тихо, то утверждаю, что образуется валик $ESTO$, и вне воды останется верхушка конуса AST тройной высоты по сравнению с высотой валика ES ; это следует из того, что при весе вещества конуса, равном воде, затонувшая часть $SBDT$ остается безразличной к движению вверх или вниз, конус же AST , будучи по объему равным

воде, помещающейся внутри валика *ESTO*, будет равен ей также и по весу; посему во всем наступит равновесие, а следовательно, и покой. Теперь возникает сомнение в том, можно ли сделать конус *ABD* более тяжелым, так, чтобы, помещенный в воду, он стремился ко дну, но не с такой силой, чтобы у валика была отнята способность удержать его от затопления. Основание для сомнения следующее: когда конус *ABD* равен воде по удельному весу, то валик *ESTO* поддерживает его не только в том случае, если его верхушка *AST* имеет высоту, в три раза большую высоты валика *ES*, но в еще большей степени, если вне воды остается меньшая часть, потому что хотя при погружении конуса верхушка *AST* уменьшается в объеме, равно как и валик *ESTO*, однако верхушка уменьшается в большей пропорции, чем валик, сокращаясь по всем трем направлениям, валик же только по двум, сохраняя постоянно одну высоту; говоря иначе, объемы конусов идут, уменьшаясь пропорционально кубам линий, образующих последовательно диаметры оснований выступающих конусов, объем же валиков уменьшается пропорционально квадратам тех же линий; отсюда пропорция для конуса будет всегда равна полуторной пропорции цилиндра, заключающегося между валиками. Таким образом, если, например, высота выступающей вершины вдвое более высоты валика или равняется ей, то цилиндр, содержащийся между валиками, будет достаточно больше

названной вершины, представляя полуторный или торной ее объем, почему и приобретет силу, достаточную для поддержания всего конуса, при том условии, что затонувшая часть его не увеличивается в весе. Однако, когда прибавляется какая-нибудь тяжесть ко всему конусу, так что и затонувшая часть его получает некоторый излишний вес сравнительно с водою, то остается неясным, может ли цилиндр, заключающийся между валиками, при погружении конуса притти к такому соотношению с выступающей вершиной и к такому перевесу его объема над ее объемом, чтобы быть в состоянии уравновесить излишек удельного веса конуса над весом в ды. Сомнение возникает оттого, что, хотя при опускании конуса выступающая вершина его *AST* уменьшается, вследствие чего уменьшается также излишек веса тела над весом воды, но в то же время суживается валик и уменьшается объем ограниченного им цилиндра. Все же здесь будет доказано, что конус *ABD* любой величины, сделанный первоначально из вещества, вполне равного воде по тяжести, и при прибавлении некоторого веса, благодаря которому он стремится вниз, будучи помещенным в воду, может с помощью валиков оставаться, не утоая.

Пусть *ABD* (фиг. 15) будет конус любой величины из материала, по удельному весу равного воде. Ясно, что опущенный осторожно в воду он останется, не утонув, и вне воды останется его вер-

шина AST , тройной высоты по сравнению с высотой валика ES . Предположим теперь, что конус ABD опустится еще ниже, так что над водою останется только вершина AIR , половинной высоты по сравнению с AST , окруженная валиком $CIRN$. Так как объем конуса AST относится к объему конуса AIR , как куб линии ST к кубу линии IR , объемы же цилиндров $ESTO$ и $CIRN$ относятся один к другому, как квадраты линий ST и IR , то объем конуса AST будет в восемь раз больше конуса AIR , а объемы цилиндра $ESTO$ в четыре раза больше цилиндра $CIRN$; но конус AST равен цилиндру $ESTO$, следовательно, цилиндр $CIRN$ будет вдвое более конуса AIR , и вода, содержащаяся внутри валика $CIRN$, и по объему и по весу будет вдвое превышать конус AIR и сможет поэтому поддерживать вес, вдвое больший веса конуса AIR . Поэтому, если весь конус ABD увеличится в весе на столько, сколько весит конус AIR , что составит одну восьмую веса конуса AST , то он еще может быть поддержан валиком $CIRN$, но без него пойдет ко дну, сделавшись от прибавления веса, равного одной восьмой веса конуса AST , тяжелее воды.



Фиг. 15.

Если бы высота конуса AIR составляла две трети

высоты конуса AST , то объемы конусов AST и AIR относились бы друг к другу, как 27:8, а объемы цилиндров $ESTO$ и $CIRN$, как 9:4 или 27:12; следовательно, объем цилиндра $CIRN$ относился бы к объему конуса AIR , как 12:8, излишек же объема цилиндра $CIRN$ над объемом конуса AIR к объему конуса AST , как 4:27; таким образом, если к конусу ABD прибавить такую тяжесть, которая бы равнялась $\frac{4}{27}$ веса конуса AST , что составит немного более $\frac{1}{7}$ части, то он останется на поверхности, и высота выступающей из воды вершины будет равна двойной высоте валика. То, что здесь доказано относительно конусов, может быть применено и к пирамидам, хотя бы те и другие были весьма остры; отсюда можно заключить, что совершенно то же самое еще легче произойдет со всякими иными фигурами, которые оканчиваются менее острыми вершинами и поддерживаются валиками большого объема.

Следовательно, фигуры любой величины могут опускаться или не опускаться на дно в зависимости от того, будут ли их вершины смочены водою или нет; а так как это явление общее для всех видов фигур без всяких исключений, то значит фигура не оказывает никакого влияния на явление опускания в одном случае и неопускания в другом, которое происходит единственно от присоединения или отнятия прилегающего сверху воздуха. Всякий; кто рассмотрит внимательно и, как говорится, не-

предубежденным глазом это дело, признает указанную выше причину за истинную, естественную и первичную причину нахождения тел на поверхности или их опускания, каковая сводится к избытку или недостатку тяжести воды над тяжестью тела, помещаемого в воду. Как полоса свинца толщиной в ручку ножа, будучи помещена в воду одна, идет ко дну, но с привязанной к ней сверху пробкою пальца в четыре толщины, остается на поверхности, потому что теперь тело, помещаемое в воду, будет уже не тяжелее, но легче воды, так и эбеновая дощечка, по природе своей более тяжелая, чем вода, опускается, если кладется в воду одна; если же она помещается на воду в соединении со слоем воздуха, опускающегося вместе с эбеном, и притом в таком количестве, что образовавшееся соединение легче объема воды, соответствующего объему части тела, уже опустившейся и находящейся ниже уровня воды, то она не пойдет ко дну, но остановится и не по какой иной причине, кроме универсальной и всеобщей, а именно: тела, которые по удельному весу легче воды, не идут ко дну.

Отсюда тот, кто взял бы свинцовую пластинку, примерно в палец толщиной и шириной в ладонь и пытался заставить ее остаться на поверхности, осторожно опуская на воду, напрасно потерял бы свой труд, потому что как только она углубится на волос более возможной высоты валиков воды, так покроется водою и затонет; но если бы, пока

пластинка опускается, вокруг нее могли образоваться валики, которые задержали бы распространение воды поверх пластинки, и борты которых поднимались бы настолько высоко, чтобы вместить внутри себя столько воды, сколько весит пластинка, то она, без сомнения, не потонула бы, но осталась, поддержанная силою воздуха, заключенного внутри названных бортов, так что в результате образовался бы сосуд со свинцовым дном. Если же свинец будет настолько тонок, что ничтожная высота бортов достаточна, чтобы вместить столько воздуха, сколько является необходимым для поддержания его на поверхности, то он останется наверху и без бортов, но не без воздуха, потому что воздух сам по себе образует борты, достаточные при их малой высоте, чтобы задержать распространение воды; отсюда и то, что плавает в настоящем случае, есть также сосуд, наполненный воздухом, силою которого он и держится, не утопая.

В заключение постараюсь другим опытом устранить всякие сомнения, если только осталось еще какое-нибудь место для них, относительно воздействия на тонкую плавающую пластинку соприкасающегося с нею воздуха, и затем положу конец этой части моего рассуждения.

Представляю себе, что кто-нибудь из противников предлагает мне такой вопрос: предположим, что фигура не оказывает никакого влияния на увеличение или уменьшение сопротивления какого-либо веса

при поднятии его в воздухе; защищая решение этого вопроса в обратном смысле, утверждаю, что объем свинца, обделанный в форму шарика, может быть поднят с меньшим усилием, чем тот же свинец, обделанный в виде тонкой и широкой пластинки, потому что широкая фигура должна прорезать большее количество воздуха, а более сжатое и плотное — меньшее; чтобы доказать то, что кажется мне верным, подвешиваю к тонкой нитке сначала шарик и кладу его в воду, прикрепив поддерживающую его нитку к одному из концов коромысла весов, которые держу в воздухе; к другому концу прибавляю такой вес, которого оказывается достаточным, чтобы поднять шарик и извлечь его из воды, для чего понадобится, предположим, вес в 30 унций. Превращаю потом тот же свинец в плоскую легкую пластинку, которую также кладу на воду, подвесив на трех нитях, чтобы удерживать ее параллельно поверхности воды, прибавляю на чашку весов гири до тех пор, пока пластинка не поднимется и не извлечется из воды, и показываю, что и 36 унций недостаточно, чтобы отделить ее от воды и поднять на воздух. Основываясь на этом опыте, утверждаю, что во всей полноте доказал правильность моего предположения.

Так говорит мой противник, заставляя меня на некоторое время поникнуть головою, и обращает мое внимание на явления, которых я ранее не замечал, показывая мне, что пластинка, выходя из

воды, тянет за собой другую водяную пластинку, которая, прежде чем отделиться и отстать от нижней поверхности свинца, поднимается над общим уровнем воды более, чем на лезвие ножа. Возвращаясь к повторению опыта с шариком, который показывает мне, что к его плотной и сжатой фигуре прилежит ничтожное количество воды; это внушает мне мысль, что неудивительно, если при отделении от воды тонкой и широкой пластинки чувствуется гораздо большее сопротивление, чем при отделении шарика, ибо вместе с пластинкой поднимается и большее количество воды, что не имеет места при опыте с шариком, и заставляет обратить внимание на то, что вопрос наш теперь свелся к тому, существует ли большее сопротивление подъему широкой свинцовой пластинки с большим количеством воды, чем шарiku с малым. Наконец, класть сначала пластинку и шарик в воду, чтобы затем доказывать их сопротивление в воздухе, не соответствует предмету нашего спора, так как мы рассуждаем о подъеме предметов в воздухе и вещах, находящихся в воздухе, а не в сопротивлении, проявляющимся на границе воздуха и воды, или о вещах, находящихся частью в воде, частью в воздухе. Тот же опыт показывает осязательно, что когда пластинка находится в воздухе и свободна от тяжести воды, она поднимается совершенно тою же силою, как и шарик. Видя и воспринимая все это, я не знаю, что и делать; остается признать себя побежденным и

благодарить друга за то, что он научил меня тому, чего я ранее не заметил. Наученный таким случаем, говорю противникам: у нас идет вопрос о том, одинаково ли опускаются на дно шарик и дощечка из эбена, а не эбеновый шарик и эбеновая дощечка, связанные с воздушным слоем; что мы говорим об опускании и неопускании в воде, а не о том, что происходит на границе воды и воздуха с телами, находящимися частью в воде, частью в воздухе; что мы не рассуждаем о большей или меньшей силе, потребной для отделения того или иного тела от воздуха. Не могу напоследок умолчать, что совершенно так же сопротивляется воздух, отягчая, так сказать, движение вниз к воде, как сопротивляется вода и отягчает движение вверх в воздух; одинаково затруднительно как опустить в воду ведро, полное воздуха, так и поднять в воздух ведро полное воды, не принимая в соображение веса сосуда, а рассматривая только воду и воздух. Равным образом верно, что мы встречаемся с одинаковым затруднением как в том случае, когда вводим вниз под воду стакан или другой сосуд, полный воздуха, так и в том, когда поднимаем этот стакан, пока он полон водой, держа его отверстием книзу, над поверхностью воды; вода принуждена следовать за стаканом, содержащим ее, и подняться над общим уровнем воды в пределах воздуха таким же образом, как воздух принужден сопровождать сосуд вниз в пределы воды до тех пор, пока в последнем случае

вода, перейдя за край стакана, не устремится туда, вытесняя воздух, а в первом — пока края не выйдут из воды и не достигнут пределов воздуха, после чего вода падает вниз, а воздух проскальзывает и заполняет внутренность сосуда. Из сказанного вытекает, что мы не выходим за пределы нашего исследования как рассматривая, опустится ли на дно дощечка, соединенная с некоторым объемом воздуха, так и производя опыт в доказательство сопротивления при поднятии в воздух свинцовой пластинки, соединенной с некоторым количеством воды.

Я говорил то, что пришло мне на мысль для доказательства истины того положения, которое я взялся защищать. Мне остается теперь рассмотреть, что по этому предмету пишет Аристотель в конце книги «О Небе», причем отмечу по этому поводу два пункта. Если верно то, что мною доказывалось, а именно, что фигура не имеет отношения к причине простого движения вверх или вниз, то кажется и Аристотель при первоначальном обсуждении этой проблемы держался такого же мнения, что, как мне думается, можно вывести из его же слов. С другой стороны, однако, правильно и то, что, желая затем объяснить причину явления, которое он, по моему мнению, не хорошо понял (что рассмотрю в другом месте), Аристотель пришел к признанию участия в этом явлении и ширины фигуры.

Что касается первого пункта, — вот точные слова Аристотеля: «Фигуры не суть причины, производя-

щие простое движение вниз или вверх, но лишь причины медленности или быстроты движения, а по каким причинам это происходит — нетрудно видеть».

Здесь, во-первых, я отмечаю, что в данном рассуждении встречаются четыре понятия: движение, покой, медленность и быстрота; и так как Аристотель указывает на фигуры как причину медленности или быстроты, исключая их из категории причин абсолютного простого движения, то он по необходимости должен исключить их и из причин покоя, так что его мысль можно было бы выразить точнее следующим образом: фигуры не суть причины, производящие абсолютное движение или покой, но лишь причины медленности или быстроты. Если кто-нибудь скажет, что по мнению Аристотеля фигуры исключаются, как причина движения, но никак не покоя, и что его мыслью было отрицание за фигурами свойства являться причинами простого движения, но не покоя, то я спрошу его, не должно ли вместе с Аристотелем признать, что все фигуры вообще в известной мере являются причиной покоя в тех телах, которые иначе двигались бы, или же этим свойством обладают только некоторые особые фигуры, как, например, широкие и тонкие; если все без различия, то значит всякое тело придет в состояние покоя, потому что всякое имеет какую-нибудь фигуру, что неверно; если же только какие-нибудь особенные фигуры, например широкие, могут быть в известной мере причиной покоя, то значит другие будут в не-

которой мере причиною движения. В самом деле, видя, что некоторые тела при сжатой фигуре движутся, а затем, расширенные в виде пластинки, останавливаются, я могу заключить, что обширность фигуры имеет отношение к причине такого покоя; видя, с другой стороны, что такие пластинки остаются в покое, а затем, будучи сжаты, движутся, могу с одинаковым основанием утверждать, что сжатость и плотность фигуры имеют отношение к причине движения, а это прямо противоположно тому, что говорит Аристотель, т. е. что фигуры не суть причина движения. Притом, если бы Аристотель признавал, а не исключал фигуру как причину покоя в некоторых телах, которые, будучи сведены к другим фигурам, пришли бы в движение, то этому совершенно не соответствовали бы непосредственно следующие его слова, в которых он выражает недоумение относительно того, откуда происходит, что широкие и тонкие пластинки из железа и свинца останавливаются в воде; это было бы непонятно, если бы имелась налицо готовая причина — обширность фигуры. Итак, заключаю, что мыслью Аристотеля в данном месте было утверждение, что фигуры не являются причиною абсолютного движения или покоя, но лишь быстроты или медленности движения; этому можно поверить, тем более, что в действительности такая мысль и такое выражение совершенно правильны. Теперь, если мысль Аристотеля была такова, то по своим следствиям она на первый же

взгляд скорее противоположна, нежели благоприятна мнению моих противников; но их толкование не совсем таково, причем одними это место понимается так, другими толкуется иначе. Что это действительно имеет место, можно судить по объяснению его смысла, даваемому знаменитыми комментаторами, согласно которому прилагательные «простой» или «абсолютный» в тексте Аристотеля относятся не к слову «движение», а к существительному «причина», так что смысл слов Аристотеля заключается в утверждении, что фигуры не суть абсолютно причины движения или покоя, но суть причины второстепенные ¹⁵, т. е. имеют к нему лишь некоторое отношение, почему и носят название причин вспомогательных или сопутствующих. Такое положение принимается и выдается за правильное синьором Буонамико в книге V, главе 28, где он пишет следующее: «Существуют другие причины, сопутствующие, благодаря которым некоторые тела плавают, другие же тонут; между ними первое место принадлежит фигурам тел» и т. д.

Относительно такого толкования у меня возникают разные сомнения и затруднения, почему мне и кажется, что словам Аристотеля нельзя придавать такого расположения и смысла. Затруднения эти следующие. Во-первых, по порядку и расположению слов у Аристотеля прилагательные «простой» или, скажем, «абсолютный» отнесены к понятию движения и отделены от слова «причина», что

дает мне большое преимущество, ибо писанный текст гласит: «фигуры не суть причины простого движения вверх или вниз, но причины более медленного или быстрого движения», а не так, например: «фигуры не суть простые причины движения вверх или вниз...». А когда слова текста при перестановке получают смысл, отличный от того, какой они имеют при сохранении того порядка, в котором они расположены у автора, то не подобает их переставлять. И кто же станет утверждать, что Аристотель, желая изложить свои положения, расположил слова таким образом, чтобы они могли иметь другой и даже противоположный смысл? Говорю противоположный, потому что понятые так, как они написаны, они гласят, что фигуры не суть причины движения, переставленные же — гласят, что фигуры являются причинами движения и т. д.

Более того, если бы намерением Аристотеля было сказать, что фигуры не суть простые причины движения вверх и вниз, но только причины второстепенные, то он не прибавил бы следующих слов: «но суть причины более быстрого и более медленного»; прибавление это было бы не только излишне, но и ложно, так как тогда все предложение полностью гласило бы так: фигуры не суть абсолютная причина движения вверх или вниз, но суть абсолютная причина медленности или быстроты движения, что неверно. Первичные причины большей или меньшей быстроты рассматриваются Аристотелем в кни-

ге IV «Физики», в отделе 71, с отнесением их к большей или меньшей тяжести движущихся тел относительно друг друга и к большему или меньшему сопротивлению сред, зависящему от их большей или меньшей плотности; эти причины устанавливаются Аристотелем как первичные, и только они две упоминаются в этом месте; фигура же рассматривается потом в отделе 74 скорее как посредствующая причина силы тяжести, которая разделяет среду или фигурой или стремлением; и действительно, фигура сама по себе, без силы тяжести или легкости, не производит ничего.

Прибавлю, что если бы Аристотель решил, будто фигура каким-либо образом является причиной движения или покоя, то странным было бы замечание, которое он делает тут же немедленно в форме недоумения, отчего происходит то, что свинцовая пластинка плавает; ибо, если бы он тогда же сказал, что фигура некоторым образом есть причина движения или покоя, не приходилось бы недоумевать, по какой причине плавает свинцовая пластинка, приписывая затем причину фигуре и составляя рассуждение в таком виде: фигура есть второстепенная причина неопускания на дно, но теперь возникает сомнение, по какой причине тонкая пластинка свинца не идет на дно; отвечаю, что это происходит от фигуры, — рассуждение, которое не приличествовало бы даже ребенку, а не только Аристотелю. И где же повод для недоумения? И кто не согласится, что, если бы

Аристотель установил, что фигуры есть некоторым образом причины плавания, то он написал бы прямо в положительной форме: фигура является некоторым образом причиною плавания, посему и свинцовая пластинка, благодаря обширной и широкой фигуре, плавает. Но если мы возьмем предложение Аристотеля так, как я его беру, как оно написано и как на самом деле правильно, то рассуждение его идет превосходно и логично, когда после введения быстроты и медленности весьма кстати высказывается недоумение, и рассуждение в целом гласит так: фигуры не суть причины простого движения или недвижения вверх или вниз, но суть причины большей быстроты или медленности движения. Если же это так, то недоумеваю относительно причины, по которой происходит, что широкая и тонкая пластинка из железа или свинца плавает. Тут повод для недоумения налицо, так как на первый взгляд кажется, что причиною такого плавания является фигура, ибо тот же свинец и даже в меньшем количестве, полной формы, идет ко дну; мы же выразили выше утверждение, что фигура не оказывает влияния на это явление.

Наконец, если бы намерением Аристотеля было сказать в этом месте, что фигуры, хотя не абсолютно, но по крайней мере некоторым образом являются причиною движения или покоя, то я обращаю внимание, что он упоминает не только движение вниз, но и вверх, а затем приводит как

пример лишь опыт со свинцовой пластинкой и эбеновой дощечкой — вещами, которые по своей природе стремятся ко дну, но в силу фигуры (как утверждают некоторые) остаются на поверхности; следовало бы, чтобы кто-нибудь произвел другой опыт с такими вещами, которые по своей природе стремятся на поверхность, но, задержанные фигурой, остаются на дне. Но так как сделать этого невозможно, то заключаем, что Аристотель в данном месте не имел намерения присваивать фигуре никакого действия на абсолютное движение или покой.

Я не решился бы утверждать, что Аристотель далее тонко рассуждает, отыскивая решение возникшего у него сомнения; наоборот, разные представляющиеся мне затруднения дают мне даже повод предположить, что он здесь не вполне выяснил действительную причину настоящего положения; эти затруднения я устранию, готовый изменить свое мнение, как только мне будет доказано, что в высказанном мною нет истины, ибо я гораздо более склонен к признанию ее, нежели к противоречию.

Вопрос, поставленный Аристотелем, таков: отчего происходит то, что широкие пластинки железа, свинца и т. д. плавают, особенно, если принять во внимание (как бы укрепляя повод к сомнению), что другие предметы меньшей величины и веса, будучи круглыми или длинными, как, например, игла, — идут ко дну? В этом, наоборот, я не только сомневаюсь, но даже уверен, что игла, осторожно положенная

на воду, останется на поверхности так же, как тонкая пластинка железа и свинца. Я не могу поверить, как бы мне это не объясняли, тому, кто защищая Аристотеля скажет, что он подразумевал здесь иглу, помещенную не вдоль, но прямо, острием вниз. Все же, чтобы не оставить и такого выхода, весьма слабого, и от которого, конечно, по моему мнению отказался бы сам Аристотель, скажу: должно понимать, что игла положена согласно измерению, только что упомянутому Аристотелем, а именно — по длине, и что если бы можно и должно было придать телу другое положение кроме обозначенного, то я сказал бы, что и железная или свинцовая пластинки также идут на дно, если положить их не плашмя, а на ребро. Но так как Аристотель говорит, что широкие фигуры не идут на дно, то должно понимать, что фигуры положены плашмя; когда же он говорит, что фигуры длинные, как игла, хотя и легки, но не остаются на поверхности, следует понимать, что они положены по длине.

Притом же утверждать, что Аристотель подразумевал иглу, поставленную на острие, значит заставлять его сказать величайшую глупость, потому что в этом же месте он говорит, что малые частицы свинца или железа, если будут круглы или длинные, как игла, идут на дно; значит, по его мнению, и крупинка железа не может остаться на поверхности; если же он так думал, то какой наивностью было бы добавлять, что и игла, поставленная на острий

конеч, также не останется наверху? А что же такое самая игла, как не ряд многих крупинок, поставленных одна на другую? Слишком недостойно такого человека было бы сказать, что одна крупинка железа не может плавать, и что она не станет плавать, если на нее наложить еще сотню таких же частиц.

В конце концов Аристотель либо думал, что игла, положенная на воду вдоль, останется на поверхности, либо он думал, что она не останется на поверхности; если он думал, что не останется, то прекрасно мог сказать то, что он действительно и сказал; но если он полагал и знал, что игла будет плавать, то почему же вместе с сомнительной проблемой плавания широких фигур, хотя бы сделанных из тяжелых веществ, не высказал он также недоумение относительно того, почему плавают также и длинные и тонкие фигуры, хотя бы из железа или свинца? И это тем знаменательнее, что повод для недоумения кажется большим относительно фигур длинных и сжатых, чем относительно широких и тонких. Отсюда явствует, что никакого сомнения по этому поводу у Аристотеля не возникало.

Не меньшую нелепость приписал бы Аристотелю тот, кто в защиту его сказал бы, что он подразумевал иглу довольно толстую, а не тонкую, потому что я тотчас же спрошу: а что же он думал о тонкой? Придется ответить, — он думал, что она будет плавать, — и тогда я снова обвиню его в том, что он уклонился от более чудесной и трудной проб-

лемы и ввел более легкую и менее удивительную.

Итак, скажем откровенно: Аристотель полагал, что только широкие фигуры остаются на поверхности, длинные же и тонкие — нет. Это, однако, неверно, как неверно и положение относительно круглых тел, потому что, как можно было вывести из всего сказанного выше, и малые шарики из железа и даже свинца таким же образом могут плавать.

Далее, предлагается другое заключение, которое одинаково кажется мне далеким от истины, а именно, что некоторые предметы по своей малости плавают в воздухе, как-то: мельчайшие пылинки земли и тончайшие листки расплющенного золота; но мне кажется опыт показывает нам, что этого не случается не только в воздухе, но даже в воде, в которой опускаются даже мутящие ее мельчайшие частицы земли, малость коих такова, что они могут быть видимы только собранные сотнями. Итак, земляная пыль и листочки золота не держатся в воздухе, но опускаются книзу и носятся только вздымаемые сильным ветром или движимые иным возмущением воздуха, что происходит также и при возмущении воды, которое поднимает отложения со дна и крутит их. Но Аристотель не может подразумевать действия такого возмущения, о котором он вовсе не упоминает, и называет лишь легкость этих частиц и сопротивление плотности воды и воздуха, из чего видно, что он говорит о воздухе спокойном, а не взволнованном или возмущенном;

но в таком случае ни золото, ни земля, как бы они не были измельчены, не держатся, но быстро опускаются.

Затем он переходит к опровержению Демокрита, который по его свидетельству предполагал, что некие атомы огня, непрестанно восходящие в воде, толкают вверх и поддерживают такие тяжелые тела, которые довольно широки, в то время как тела узкие опускаются вниз, так как им противодействует и толкает их малое количество названных атомов.

Аристотель выступает против этого положения, говоря, что подобное должно было бы скорее происходить в воздухе, что и сам Демокрит приводит против себя же; коснувшись затем этого вопроса, он легко решает его, говоря, что эти тельца, восходящие в воздухе, стремятся вверх неспломенно. Я не скажу здесь, чтобы признанная Демокритом причина была истинной; скажу только, что она, как мне кажется, недостаточно опровергается Аристотелем, когда он говорит, что если бы было правильно, будто восходящие горячие атомы поддерживают тяжелые, но достаточно широкие тела, то они должны были бы проявлять себя более в воздухе, нежели в воде, потому что, по мнению Аристотеля, эти горячие тельца должны с большею силою и быстротою восходить в воздухе, нежели в воде. Если постановка вопроса Аристотелем именно такова, как мне кажется, то я полагаю, что он дает повод заподозрить его в заблуждении, и даже не одном. Во-первых,

едва ли правильно, что горячие тельца, будь они частицами огня или его парами, или вообще каким-либо легким веществом, восходящим вверх даже в воздухе, будут подниматься вверх в воздухе быстрее, чем в воде; совершенно обратно, они должны двигаться более стремительно в воде, чем в воздухе, как я уже доказывал выше. И тут я не могу уразуметь причину, по которой Аристотель, видя, что движение вниз одного и того же тела совершается в воздухе с большей быстротою, чем в воде, не обратил нашего внимания на то, что при обратном движении по необходимости должно происходить противоположное, т. е. что оно будет быстрее в воде, чем в воздухе; взяв тело, опускающееся вниз с большею быстротою в воздухе, чем в воде, представим себе, что тяжесть его постепенно уменьшается; сначала оно станет таким, что, опускаясь быстро в воздухе, будет медленно опускаться в воде; затем оно сможет стать таким, что, все же опускаясь в воздухе, в воде будет подниматься; сделанное еще легче, в воде поднимается быстро, в воздухе же будет опускаться; и вообще, ранее чем получит способность подняться в воздухе хотя бы самым медленным движением, оно в воде будет подниматься самым быстрым образом. Если это так, то как же может быть верно, будто то, что самопроизвольно движется вверх, будет быстрее двигаться в воздухе, чем в воде?

То, что заставило Аристотеля полагать, будто

движение вверх совершается быстрее в воздухе, чем в воде, было, во-первых, признание им причинами медленности и быстроты движения как вверх, так и вниз, только разницы в фигуре движущегося тела и большего или меньшего сопротивления среды, обладающей большей или меньшей степенью плотности или легкости, и непринятие им в расчет относительной тяжести движущегося тела и среды, что, однако, как раз и является главным пунктом в настоящем вопросе. Если бы возрастание или уменьшение медленности или быстроты зависело только от плотности или легкости сред, то всякое движущееся тело, опускающееся в воздухе, опускалось бы и в воде, потому что, какая бы разница ни существовала между плотностью воды и плотностью воздуха, соответственная разница всегда может быть найдена между быстротою движения того же тела в воздухе и какою-либо другой быстротою, которая и должна быть его естественной быстротой при движении в воде; это между тем совершенно ложно. Другой причиной было его предположение, что подобно тому как существует положительное и природное свойство, в силу которого элементарные тела имеют склонность движения по направлению к центру земли, не что иное, как такое же внутреннее свойство некоторых тел, дает им стремление убегать от центра земли и двигаться вверх; в силу такого внутреннего принципа, называемого им легкостью, тела при таком движении легче разделяют

среду более тонкую, чем плотную. Но такое положение одинаково не кажется мне верным, как я частью указывал и раньше, и как рассуждениями и опытом мог бы доказать, если бы настоящий вопрос не представлял такой большой важности, и я мог ограничиться немногими словами.

Итак, положение, выдвигаемое Аристотелем против Демокрита, что если восходящие атомы огня поддерживают тяжелые тела, имеющие широкую фигуру, то это действие их должно проявляться более в воздухе, чем в воде, потому что такие тельца быстрее движутся в воздухе, нежели в воде, нехорошо, ибо должно происходить как раз обратное, так как частицы эти в воздухе поднимаются медленно и, кроме того, что движутся медленнее, идут не сплоченно, как в воде, но разъединяются и, как говорится, рассеиваются, а потому, как хорошо выражается Демокрит в заключение своего предложения, не толкают и не оказывают воздействия совокупно.

Во-вторых, заблуждается Аристотель, когда полагает, что названные тяжелые тела должны легче поддерживаться восходящими горячими частицами в воздухе, нежели в воде, не принимая во внимание, что тела эти в воздухе тяжелее, чем в воде, так что, например, если какое-либо тело весит 10 фун. в воздухе, то в воде оно, может быть, не весит и $1\frac{1}{2}$ унции; как же может быть, что его легче подержать в воздухе, чем в воде? Из этого заключаю,

что по этому частному вопросу Демокрит рассуждал лучше, нежели Аристотель. Но я вовсе не хочу сказать, что рассуждения Демокрита правильны; напротив, есть наглядный опыт, опровергающий его положение, а именно: если бы было правильно, что восходящие в воде горячие атомы поддерживают тело, которое без их воздействия пошло бы на дно, то из этого вытекало бы, что мы можем найти вещество, по тяжести едва превосходящее воду, которое в форме шарика или другой плотной фигуры пошло бы ко дну, встречая на пути малое число атомов огня, а потом, расширенное в широкую и тонкую пластинку, вытеснялось бы вверх действием множества этих телец и поддерживалось ими на поверхности воды. На самом деле этого не случается, и как показывает нам опыт, тело фигуры, скажем, сферической, которое едва-едва с большой медленностью идет ко дну, опустится и останется там и приведенное к виду какой-угодно иной широчайшей фигуры. Необходимо поэтому сказать, или что в воде вовсе нет таких восходящих атомов огня, или что если они там и есть, то они не обладают силою, достаточной для поднятия и выталкивания на поверхность пластинки из того же вещества, которая без их помощи пошла бы ко дну. Из этих двух предположений я признаю правильным второе, подразумевая, что вода сохраняет свою природную холодность. Но если мы возьмем сосуд из стекла, меди, или другого твердого вещества, напол-

ненный холодной водой, и положим в него тело плоской или вогнутой фигуры, настолько мало превосходящее воду по удельному весу, что оно идет ко дну медленно, то, подложив под названный сосуд несколько горячих углей, заметим, как новые огневые тельца, проникая через субстанцию сосуда, поднимутся в субстанции воды и, ударяясь о вышеупомянутое тело, вытолкнут его на поверхность и будут поддерживать его там, пока будет продолжаться поток названных телец; когда же после отнятия огня поток их прекратится, тело вернется на дно, лишное своей опоры.

Но Демокрит отмечает, что это явление имеет место только тогда, когда дело идет о поднятии и поддержании пластинок из вещества немного тяжелее воды или же в конечном счете очень легких; по отношению же к веществам тяжелым или телам некоторой толщины такое явление совершенно отсутствует; в подтверждение этого можно наблюдать, что такие пластинки, поднимаемые атомами огня, восходят через всю глубину воды и останавливаются у пределов воздуха, оставаясь все же под водою; пластинки же противников не останавливаются, если не имеют верхней сухой поверхности, и нет способа сделать так, чтобы они не упали на дно, когда они находятся в воде. Иная, следовательно, причина плавания существует в тех случаях, о которых говорил Демокрит, отличная от причины, действующей в таких случаях, о которых говорим мы. Возвращаясь

к Аристотелю, скажу: мне кажется, что он тем менее основательно опровергает Демокрита, что тот же Демокрит, по словам самого Аристотеля, не приводит тех положений, против которых он выступает; возражать Демокриту, утверждая, что если бы восходящие горячие тельца были тем, что поднимает тонкие пластинки, то гораздо более весомое тело должно было бы выталкиваться и подниматься ими в воздухе, значит, выказать желание сразить Демокрита, несовместимое с тонкостью основательного рассуждения. То же желание Аристотеля проявляется и в других случаях, мало чем отличаясь от настоящего места, а именно в отделе, предшествующем тому, который мы разбираем, где он пытается опровергнуть того же Демокрита, когда тот, не удовлетворяясь одним названием, желает подробнее определить, что такое тяжесть и легкость, т. е. причина опускания вниз и восхождения кверху, и вводит понятия полного и пустого, придавая последнее свойство огню, почему он движется кверху, а первое — земле, почему она опускается, и присваивает затем воздуху более огня, а воде более земли. Аристотель, желая найти для движения вверх причину положительную, а не просто, как Платон или другие древние, отрицание или отсутствие свойства, в каком отношении находится пустое к полному, — аргументирует против Демокрита, говоря: если верно то, что ты полагаешь, то, следовательно, найдется такой объем воды, который будет содер-

жать более огня, чем малый объем воздуха, и большой объем воздуха, который будет иметь больше земли, чем малый объем воды, вследствие чего следовало бы ожидать, что большой объем воздуха быстрее будет опускаться вниз, нежели малое количество воды; этого, однако, никогда не случается, и, следовательно, рассуждения Демокрита ошибочны.

Но, по моему мнению, доктрина Демокрита остается не опровергнутой таким рассуждением; напротив, если я не ошибаюсь, манера Аристотеля выводить заключения мало убедительна; если же признать ее убедительной, то можно направить ее и против него самого. Допустим, что Демокрит соглашается с Аристотелем, будто можно взять такой большой объем воздуха, что он будет содержать более земли, нежели некоторое количество воды; но он совершенно отрицает, что такой объем воздуха будет опускаться вниз быстрее, чем малое количество воды, и это по многим причинам. Во-первых, если количество земли, содержащееся в большом объеме воздуха, большее по сравнению с количеством земли, содержащимся в малом объеме воды, должно быть причиною большей быстроты, то прежде всего следовало бы признать, что больший объем простой земли должен двигаться быстрее, чем меньший; это, однако, неверно, хотя Аристотель во многих местах и утверждает это как истину; не большая абсолютная тяжесть, но больший удельный вес есть причина большей быстроты; деревянный шар весом в 10 фунт.

опускается не быстрее, чем тот, который весит 10 унций, если оба они из одного вещества, но утверждаю, что свинцовый шарик весом в 4 унции опускается быстрее деревянного весом в 20 фун., так как свинец по удельному весу тяжелее дерева. Следовательно, вовсе нет необходимости, чтобы большой объем воздуха, благодаря большому количеству содержащейся в нем земли, опускался быстрее, чем малый объем воды; напротив, каждый объем воды должен будет двигаться быстрее всякого объема воздуха, благодаря относительно большему содержанию земных частиц в воде сравнительно с воздухом. Замечу, во-вторых, что при увеличении объема воздуха увеличивается не только то, что принадлежит в нем земле, но и то, что принадлежит огню; поэтому не в меньшей мере возрастает причина поднятия вверх в силу огня, чем причина опускания вниз, благодаря увеличению земли. Надлежало бы при увеличении количества воздуха увеличить только то, что есть в нем земного, оставляя первоначальный огонь в прежнем состоянии так, чтобы земное увеличенного количества воздуха в каждой части его превосходило земное малого количества воды; только тогда можно было бы с достаточным правдоподобием заявлять, что большое количество воздуха должно опускаться вниз с большим стремлением, чем малое количество воды.

В рассуждении Аристотеля, таким образом, более ошибок, чем в рассуждении Демокрита, который

с таким же правом мог бы опровергнуть Аристотеля и сказать: если верно, что крайние элементы суть — один абсолютно легкий, а другой — абсолютно тяжелый, а средние элементы причастны в разной степени природе того или другого, причем воздуху более свойственна легкость, а воде тяжесть, то, следовательно, можно найти такой объем воздуха, тяжесть которого будет более тяжести малого количества воды, а потому такой объем воздуха опустится быстрее, чем малый объем воды; но подобного никогда не случается, и, следовательно, неверно, что средние элементы причастны тому или другому свойству. Подобное рассуждение неправильно, но не более, чем рассуждение Аристотеля против Демокрита.

В заключение, когда Аристотель говорит, что, если бы учение Демокрига было правильно, то следовало бы ожидать, что большой объем воздуха будет двигаться быстрее малого количества воды, а затем прибавляет, что этого никогда не случается, — мне кажется, было бы желательно услышать от него, где должно было бы происходить то, что он выводит против Демокрита, или какой опыт показывает, что этого не случается. Думать, что это можно увидеть в элементе — воде или воздухе — напрасно, потому что ни вода в воде, ни воздух в воздухе не движутся и никогда не стали бы двигаться, какую бы ни приписывать им причастность — земле или воздуху; земля, не будучи телом жидким, поддающимся движению других тел, является

средою, не подходящей для подобного опыта; пустоты, по словам Аристотеля, не существует, а если бы она даже существовала, ничто в ней не двигалось бы; остается область огня, но при ее огромной от нас удаленности какой опыт может убедить нас и дать Аристотелю, опровергающему Демокрита, необходимую уверенность утверждать как нечто совершенно доступное нашим чувствам, что большой объем воздуха не движется быстрее, чем малое количество воды? Но я не хочу более останавливаться на этом вопросе, хотя мог бы сказать еще многое, и, оставляя в стороне Демокрита, возвращаясь к тому месту Аристотеля, где последний делает попытку выяснить истинную причину того, почему тонкие пластинки железа и свинца плавают на поверхности воды, и даже само золото, обращенное в тончайшие листки, и мельчайшая пыль посится не только в воде, но и в воздухе. Он полагает, что из связанных тел одни разделяемы, а другие нет, и из разделяемых одни разделяются легче, а другие труднее, и это-то, утверждает он, — и должно считаться причиною. Потом он добавляет, что легко разделяется то, что хорошо принимает любую форму, и тем легче, чем лучше ее принимает, и что таков, т. е. легче разделяем, воздух сравнительно с водою, и вода сравнительно с землею. Напоследок он высказывает положение, что в каждом веществе легче разделяется и рассеивается меньшее количество, чем большее.

Здесь я замечу, что заключения Аристотеля в общем все верны, но мне кажется, что он прилагает их к частным случаям, где они не имеют места, в то время как вполне приложимы к другим случаям; так, скажем, воск легче разделяется, чем свинец, а свинец — чем серебро, так же как воск легче принимает всякие формы, чем свинец, а свинец — легче, чем серебро.

Правильно, кроме того, что легче разделяется малое количество серебра, чем большая его масса; и все эти положения верны, потому что правильно, что в серебре, свинце и воске существует сопротивление разделению как абсолютное, так и относительное. Но так как ни в воде, ни в воздухе нет никакого сопротивления простому разделению, то как мы можем сказать, что вода труднее разделяется, чем воздух? Выражаясь таким образом, мы не избежим двусмысленности, а потому я повторяю, что сопротивление абсолютному разделению — это одно, сопротивление же разделению, производимому с такой-то скоростью, — совершенно другое. Чтобы установить покой и задержать движение, необходимо сопротивление абсолютному разделению, сопротивление же быстрому разделению является причиною не покоя, но лишь медленности движения. Но как в воздухе, так и в воде нет сопротивления простому разделению; это ясно из того, что не найдется ни одного твердого тела, которое не разделяло бы и воздух, и воду; утверждение, что сусальное золото

и мелкая пыль не способны преодолеть сопротивление воздуха, противно тому, что показывает нам опыт, так как мы видим, что носящаяся в воздухе пыль и золото, в конце концов, оседают вниз и делают это также и в воде, если только помещены в нее и отделены от воздуха. А так как согласно моему утверждению ни воздух, ни вода совсем не противодействуют простому разделению, то нельзя сказать, что вода сопротивляется больше, чем воздух. Пусть никто не приводит мне в виде возражения пример легких тел, как-то: пера, кусочка серцевинки маиса и тростника, которые прорезывают воздух, но не воду, желая из этого примера вывести, что воздух разделяется легче воды; я скажу ему, что если он будет хорошо наблюдать, то увидит, как это самое тело разделит связность воды и опустится в нее частью, именно настолько, что занимаемый ею объем воды будет весить столько же, сколько все тело; если все же он будет оставаться в сомнении — не потому ли тело не погружается, что оно не способно разделить воду, — я предложу, чтобы он опустил его под воду; тогда он сам увидит, как оставленное на свободе оно, поднимаясь, разделит воду не менее быстро, чем разделяло бы воздух, опускаясь. Говорить, что если такое-то тело опускается в воздухе, но достигнув воды перестает двигаться, и следовательно, вода разделяется труднее, — не имеет смысла, потому что я предложу сделать обратное: взять кусок дерева или воска,

который поднимется со дна воды, легко разделит и преодолеет ее сопротивление и затем, достигнув воздуха, остановится, едва прикоснувшись к нему; отсюда я с таким же основанием могу заключить, что вода разделяется легче, чем воздух. Обсуждая этот вопрос, я не хочу умолчать и о другой ошибке того, кто приписывает причину опускания или неопускания на дно меньшему или большему сопротивлению плотности воды ее разделению и, пользуясь примером яйца, которое в пресной воде тонет, в соленой же плавает, видит причину этого в малом сопротивлении разделению пресной воды и в большем сопротивлении воды соленой.

Если я не ошибаюсь, из того же опыта может быть сделан совершенно обратный вывод, а именно, что пресная вода более плотна, соленая же реже и легче, ибо яйцо со дна соленой воды быстро восходит на поверхность, разделяя ее сопротивление, чего не может сделать в воде пресной, в которой и остается лежать на дне, не поднимаясь кверху. Вот к каким затруднениям приводят нас ложные принципы; но тот, кто рассуждая правильно, признает причиной таких явлений разность тяжести движущихся тел и среды, тот скажет, что яйцо идет ко дну в пресной воде, так как оно тяжелее ее, и идет к поверхности в воде соленой, так как легче ее, и без всякого затруднения обоснует и подтвердит свои заключения.

Итак, совершенно отпадает причина, которую вы-

ставляет Аристотель, говоря: «следовательно, предметы, имеющие большую ширину, остаются наверху потому, что много содержат, а то, что больше, не приспособлено легко разделять».

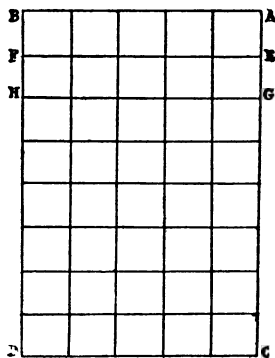
Утверждаю, что такое рассуждение совершенно отпадает, ибо неверно, что в воде или в воздухе существует какое-либо сопротивление простому разделению; к тому же свинцовая пластинка, когда она остается на поверхности, уже разделила плотность воды, проникла в нее и погрузилась на глубину в 10 или в 12 раз больше собственной толщины; кроме того, если бы и существовало в воде подобное сопротивление разделению, странно было бы говорить, что оно больше в верхних частях, чем в средних или нижних; если бы даже могло быть какое-либо различие, то более плотными должны были бы быть нижние слои воды, так что пластинка была бы скорее не способна проникнуть через нижние части воды, чем через верхние; а все же мы видим, что как только смачивается верхняя поверхность пластинки, так она тотчас же и без всякой задержки опускается на дно.

Я не думаю, чтобы кто-нибудь (считая, что может таким способом защитить Аристотеля) сказал, что, приняв за верное, будто большее количество воды оказывает большее сопротивление, чем количество малое, мы можем объяснить, почему пластинка, помещенная ниже, опускается на дно, — ибо ей теперь остается разделить меньший объем

воды; наблюдая, как пластинка плавает, а затем и тонет в пригоршне воды, испробуем тот же опыт при глубине воды в 10 и 20 локтей и увидим, что последует точное повторение того же явления. Чтобы устранить довольно распространенное заблуждение, упомяну здесь, что судно или другое какое-либо тело, плавающее над глубиною в 100 или 1000 локтей при погружении своего тела в воду на глубину 7 локтей, совершенно таким же образом будет плавать в воде, глубина которой не превосходит 7 локтей и $\frac{1}{2}$ дюйма. Не думаю также, чтобы можно было говорить, будто верхние слои воды более плотны, хотя почтенный автор и признавал таковыми верхние воды моря, находя основание этому в том, что они более солены, нежели более близкие ко дну; но я сомневаюсь в указанных результатах подобного опыта, разве только при извлечении воды со дна встретился пробивающийся там источник пресной воды; напротив того, мы видим, что течения пресных вод простираются на несколько миль от своего устья над соленой водою моря, не опускаясь в нее и не смешиваясь с нею, если только не происходит какого-либо возмущения воды или волнения ее ветром.

Но, возвращаясь к Аристотелю, скажу ему, что ширина фигуры не играет никакой роли в этом явлении, потому что та же пластинка из свинца или другого вещества, обделанная в форму тонких по длинным полосок, плавает не лучше и не хуже

то же самое будет происходить с этими полосками, если снова разрезать их на малые квадраты, ибо не ширина, но толщина оказывает в этом случае влияние на явление. Скажу ему, далее, что если бы было верно то, что сопротивление разделению есть настоящая причина плавания, много и много лучше плавали бы фигуры более сжатые и короткие, чем обширные и широкие, потому что при увеличении размера фигуры уменьшалась бы легкость плавания, а при ее уменьшении увеличилась бы. Для выяснения того, что я говорю, необходимо принять во внимание, что когда тонкая пластинка опускается, разделяя воду, разделение и нарушение связ-



Фиг. 16.

ности воды происходят в тех частях, которые находятся вокруг обвода или окружности этой пластинки, и что, сообразно большей или меньшей величине обвода, разделяется большее или меньшее количество воды. Таким образом, если обвод пластинки будет равен, скажем, 10 локтям, то при погружении ее горизонтальной плоскостью она должна будет произвести разделение и вытеснение водяных частиц, так сказать, разрез вниз через толщу воды, на пространстве 10 локтей; подобным же образом мень-

шая пластинка, имеющая по периметру 4 локтя, должна произвести разрез на пространстве 4 локтей. Установив это, всякий, кто знаком немного с геометрией, поймет, что не только доска, распиленная на многие полосы, будет плавать лучше, чем в целом виде, но что все фигуры, чем они короче и сжатее, тем лучше должны держаться на поверхности. Пусть $ABDC$ (фиг. 16) будет доска длиною, например, в восемь пядей и шириной в пять пядей; обвод ее будет составлять 26 пядей, следовательно, 26 пядям будет равняться и разрез, который она должна будет сделать в воде, чтобы опуститься. Если теперь мы разрежем ее, скажем, на восемь дощечек по линиям EF , GH и т. д., сделав семь разрезов, то увидим, что к 26 пядям обвода целой доски прибавилось еще 70 пядей, так что восемь образовавшихся благодаря разрезу и разделению дощечек должны будут разрезать воду на протяжении 96 пядей. Если, далее, разрежем каждую из названных дощечек на пять частей, образовав квадраты посредством деления этих восьми дощечек четырьмя разрезами, то к обводу в 96 пядей прибавим еще 64, почему эти квадраты, опускаясь в воду, должны будут разделять воду на протяжении 160 пядей. Но сопротивление при этом должно быть гораздо больше, чем при обводе в 26 пядей, и, следовательно, чем к меньшим поверхностям мы приходим, тем легче они будут плавать; то же самое произойдет со всеми фигурами, площади коих

подобны друг другу, но различны по величине, потому что при любом увеличении или уменьшении площадей в удвоенной пропорции уменьшается или увеличивается их периметр, а следовательно, и препятствие, встречаемое ими при разделении воды; следовательно, пластинки и дощечки должны плавать все легче и легче, по мере того как они будут все меньшей величины. Это ясно из того, что при сохранении постоянно одной и той же высоты тела последнее увеличивается или уменьшается в такой же пропорции, как увеличивается или уменьшается его основание; поэтому, уменьшая тело более, нежели его обвод, мы уменьшаем причину, по которой оно идет ко дну, более, нежели причину, по которой оно плавает, и, наоборот, увеличив тело более, нежели его обвод, усиливаем причину, по которой оно тонет, в большей степени, нежели ту, по которой оно остается на поверхности. — И все это вытекает из доктрины Аристотеля против этой же самой доктрины!

Наконец, по поводу того, что сказано в последней части отдела, т. е. что надлежит сравнивать тяжесть движущегося тела с сопротивлением среды разделению, ибо если сила тяжести превосходит сопротивляемость среды, то тело опускается, если же нет, то оно плавает, нельзя возразить ничего иного, кроме того, что было уже сказано, именно, что в данном случае проявляется не простое сопротивление разделению, которого не существует ни в воде,

ни в воздухе, но тяжесть среды по сравнению с тяжестью движущегося тела; если среда обладает большим весом, нежели тело, то последнее не опустится, или опустится не полностью, а только частично, ибо место, которое оно заняло бы в воде, не может быть заполнено телом, имеющим вес меньший, чем соответствующий объем воды; но если тело будет тяжелее воды, то оно опустится на дно и займет место, пребывание в котором является более согласным с его природою и с природою другого, менее тяжелого тела. И это есть единственная, истинная, присущая телам и абсолютная причина, в силу которой они плавают или опускаются на дно, ибо никакие иные причины не принимают в этом участия; и дощечка моих противников плавает лишь тогда, когда она связана с таким количеством воздуха, что вместе с ним образует тело, которое легче воды в объеме, занятом этим сложным телом; но когда помещается в воду простой эбен, как то и должно быть по содержанию нашего вопроса, то он всегда идет ко дну, хотя бы был тонок, как карта.



❧ ПРИМЕЧАНИЯ ❧ К „РАССУЖДЕНИЮ“ ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЯ „О ТЕЛАХ, ПРЕБЫВАЮЩИХ В ВОДЕ, И О ТЕХ, КОТОРЫЕ В НЕЙ ДВИЖУТСЯ.“

1. Работа Галилея «Discorso al Serenissimo Don Cosimo II, Gran Duca di Toscana, intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono», посвященная по обычаю того времени его патрону — великому герцогу тосканскому, — принадлежит к числу сочинений Галилея, опубликованных им при жизни: первое издание ее появилось во Флоренции в 1612 г. В дальнейшем эта работа включалась в многократно издававшееся собрание его сочинений, причем в некоторых из этих изданий она именуется кратко: «Discorso intorno i galleggianti».

Первое собрание сочинений Галилея появилось вскоре после его смерти в Болонье (1655—1656 г.), второе — во Флоренции (1718 г.), следующие — в Падуе (1744 г.), Милане (1808—1811 г. и 1832 г.), Флоренции (1842—1856 г.). Пополнение собрания сочинений Галилея происходит из различных источников почти до настоящего времени, причем каждое новое многотомное издание содержит в себе некоторые существенные дополнения. В этом отношении чрезвычайный интерес представляет последнее

издание, в настоящее время законченное, которое начало выходить во Флоренции в 1887 г. как «национальное издание» под редакцией ряда авторитетных итальянских ученых и носит общее заглавие «Le opere di Galileo Galilei».

Рассматриваемая работа Галилея помещена в IV томе этого последнего издания, вышедшем из печати в 1894 г. Помимо «Discorso» в том же IV томе помещены и сочинения противников Галилея: «Considerazioni sopra il discorso del Sig. Galileo Galilei intorno alle cose etc., fatte a difesa e dichiarazione dell'opinione d'Aristotile da *accademico incognito*»; «Operetta intorno al galleggiare etc. di *Giorgio Corsio*»; «Discorso apologetico di *Lodovico Delle Colombe*, d'intorno al discorso di Galileo Galilei, circa le cose etc.»; «Considerazioni di *M. Vincenzio di Grazia* sopra al discorso di Galileo Galilei intorno alle cose etc.».

Там же помещена работа ученика Галилея *Benedetto Castelli*: «Risposta alle opposizioni del S. Lodovico delle Colombe, e del S. Vincenzio di Grazia, contro al Trattato del S. Galileo Galilei, delle cose che stanno in su l'acqua etc.», а также ряд других материалов, стоящих в связи со спором о законе плавания тел.

Отдельные мысли и положения, встречающиеся в этих дополнительных статьях, несомненно, весьма интересны, а весь материал крайне характерен для данной эпохи; однако ни возражения аристотелиан-

цев, ни аргументы, приводимые в защиту воззрений Галилея со стороны Кастелли, не вносят ничего принципиально нового в доводы Галилея и не расширяют пределов суждения по вопросу о плавании тел. Поэтому мы сочли возможным не приводить их здесь даже в выдержках.

Что же касается трактата Галилея, то он помещается здесь полностью. Правда, принципиальные положения Галилея, представляющие для нас особый интерес, составляют не все содержание его сочинения. Однако желание не только возможно полнее охарактеризовать воззрения самого автора, но и дать читателям ясное представление об идеологии схоластической школы, побудили меня отказаться от первоначального намерения привести часть трактата только в выдержках; к тому же сделать этого нельзя без ущерба для целостности данного сочинения Галилея. Хотя эта его работа и уступает по своим литературным достоинствам таким исключительно блестящим по изложению сочинениям Галилея, как «*Il Saggiatore*», все же и в ней он остается первоклассным писателем, умевшим облекать свои мысли в ясную, точную и изящную форму, пользуясь при этом своим родным языком, а не общепринятой в то время латынью.

Перевод «*Discorso*» на русский язык выполнен с итальянского текста, помещенного в XII томе полного собрания сочинений Галилея издания 1854 г. (стр. 9 — 96) и в точности воспроизведенного

в IV томе издания 1894 г.; он был начат покойной А. Н. Долговой, а закончен и обработан С. П. Долговым. При выполнении этой работы наряду с точностью передачи мысли автора преследовалась и возможная точность передачи стиля трактата, дабы перевод правильно отражал самый способ изложения мыслей автором и сохранял, насколько это возможно, построение фраз, характерное для данной эпохи.

Чертежи к трактату воспроизведены с небольшими исправлениями технического характера из указанного выше XII тома собрания сочинений Галилея издания 1854 г.

2. «Планетами Медичи» Галилей назвал открытых им четырех спутников Юпитера. Это открытие Галилея имело помимо научного и большое практическое значение; последнее не было, однако, достаточно оценено его современниками. При наблюдении Сатурна Галилею не удалось установить, чем вызывается изменение его видимой формы, и он предположил, что эта планета состоит из трех соприкасающихся тел. В действительности эти изменения вызываются, как известно, кольцом, окружающим Сатурн.

3. ...*diciamo Questo è ben negozio grave, ma l'altro è di poco momento*», и «*Noi consideriamo le cose leggere, e trapassiamo quelle che son di momento*». Слово «*momento*» имеет здесь тот же смысл, что и латинское слово «*momentum*» — важность, значение.

4. Пусть площадь основания призмы — f' , поверхность воды, окружающей призму, — f , и площадь основания призматического сосуда — I ; очевидно, что $I = f' + f$.

Пусть, далее, объем части призмы, погруженной до нового уровня воды, — v' , и объем воды, поднявшейся с первоначального до нового уровня, — v ; изложенная теорема выражается, следовательно, так:

$$v : v' = f : (f' + f).$$

5. Если призма поднята на высоту h' , а уровень воды опустился на высоту h , то при тех же обозначениях f и f' , что и в примечании 4, имеем, очевидно:

$$h : h' = f' : f.$$

6. Обозначим через G' и G абсолютный вес призмы и соответственно окружающей воды и через γ' и γ — удельный вес вещества призмы и соответственно воды. Изложенное рассуждение представится тогда в следующем виде.

По предположению $\gamma > \gamma'$, следовательно,

$$G : G' > v : v';$$

но $v : v' = f : f'$, и мы знаем, что $f : f' = h' : h$. Поэтому

$$G : G' > h' : h.$$

Отсюда вывод Галилея, что «момент» веса воды G и скорости (*velocità*) ее опускания больше «момента» веса призмы G' и медленности (*tardità*) ее поднятия.

7. Пусть D , E , F — длины отрезков, удовлетворяющих пропорциям:

$$D:E = \gamma':\gamma'' \quad E:F = v':v''.$$

Ясно, что $D:F = \gamma' \cdot v':\gamma'' \cdot v''$.

Пусть, далее, для третьего тела C :

$$v''' = v' \quad \text{и} \quad \gamma''' = \gamma''.$$

Тогда

$$\begin{aligned} G':G''' &= \gamma':\gamma''' = \gamma':\gamma'' = D:E; \\ G''':G'' &= v''':v'' = v':v'' = E:F. \end{aligned}$$

Отсюда $G':G'' = D:F$ и, следовательно,

$$G':G'' = \gamma' \cdot v':\gamma'' \cdot v''.$$

Необходимо отметить, что Галилей, следуя как в данном в случае, так и последующих, теории пропорций Евклида, вынужден был прибегать к этим довольно сложным доказательствам, излишним при современной трактовке пропорций.

8. В дополнение к обозначениям предыдущих примечаний введем одно новое, именно обозначим объем GD заглавной буквой V .

По условию $\gamma':\gamma = FB:DF$; но $FB:DF = v':V$; следовательно, $\gamma':\gamma = v':V$; далее, $v':v = (v':V)(V:v)$, или, на основании предыдущего равенства

$$\begin{aligned} v':v &= (\gamma':\gamma)(V:v), \\ &= \gamma' \cdot V:\gamma \cdot v, \end{aligned}$$

или, на основании леммы (прим. 7),

$$= G':G.$$

Далее, очевидно, что

$$v':v = f':f,$$

или, на основании предыдущего (прим. 6),

$$= h:h',$$

откуда

$$h:h' = G':G,$$

что указывает, по выражению Галилея, на равенство «моментов».

Заметим, что примененное в начале доказательства этой теоремы выражение «отношение объема BG к объему GD вместе с отношением объема GD к объему AF » и т. д., представляющее точный перевод соответствующего текста, имеет в виду «составное отношение». То же относится к некоторым последующим доказательствам.

9. Пусть g' — абсолютный вес воды, взятой в объеме призмы BG . Тогда

$$g':G' = (v':V) (\gamma:\gamma'),$$

но

$$\gamma:\gamma' = V:v',$$

поэтому

$$g':G' = (v':V) (V:v') = 1.$$

10. Этим замечанием оканчивается часть трактата Галилея, содержащая обоснование закона Архимеда методом возможных перемещений. Далее начинается полемическая по преимуществу часть трактата, которой полезно предпослать несколько кратких общих замечаний, чтобы не отвлекать в последующем внимания читателя отдельными част-

ными примечаниями, количество которых получилось бы весьма значительным.

Полемика Галилея с аристотелианцем Буонамико, которой открывается эта часть трактата, весьма интересна для характеристики взглядов современных Галилею перипатетиков и не требует особых замечаний. После этого Галилей переходит к «главному пункту» своего спора с аристотелианцами, именно вопросу — какое значение имеет различие в форме тел по отношению к покою или движению их в жидкости, и доказывает, что последняя может обусловливать только быстроту или медленность движения тел, но не пребывание их в состоянии покоя или движения; в своих рассуждениях и примерах Галилей стоит на совершенно правильной точке зрения, что частицы жидкости обязательно будут перемещаться под влиянием малейшего усилия и что вязкость жидкости может только замедлить это перемещение, но не уничтожить его. Количественные соотношения быстроты и медленности опускания или подъема тел в жидкости, кое-где приводимые Галилеем (дерево, которое легче воды по удельному весу едва на два процента, будет стремиться подняться в ней «раз в тысячу слабее», чем стремится опуститься в ней золото), надо рассматривать только как иллюстративные. Теоретическое и экспериментальное изучение сопротивления жидкостей перемещению в них тел разной формы и с различными скоростями представляет

собой вообще весьма трудную задачу, которая во времена Галилея еще не могла быть серьезно поставлена по общему состоянию математических и механических познаний.

Обращаясь затем к факту плавания тонкой пластинки, более тяжелой по удельному весу, чем вода, Галилей подмечает, что она располагается ниже поверхности воды, что последняя образует по краям пластинки валики и что погруженной в воду оказывается не только пластинка, но и некоторый объем воздуха, как бы присоединившегося или прилипшего к пластинке. По этому поводу необходимо заметить, что Галилей правильно описывает как данное явление, так и влияние смачивания плавающей пластинки, а равно и «прилипание» воды к телу, извлекаемому из нее, но не дает ему простого объяснения, исходящего из наличия в жидкости поверхностного натяжения, вследствие которого, как известно из физики, поверхность жидкости является как бы растянутой упругой пленкой, стремящейся сократить свою площадь до возможного минимума, и которое обуславливает ряд таких явлений, как кривизна поверхности жидкости в сосудах и пр. Некоторое представление о поверхностном натяжении во времена Галилея уже сложилось, и еще Леонардо да-Винчи исследовал его силы; однако Галилей нигде здесь о нем не упоминает. Что же касается теории поверхностного натяжения, то она была установлена лишь много позже в работах Лапласа, а затем Гаусса

По поводу самого выражения Галилея, что в случае плавания тяжелой пластинки мы имеем дело с присоединенным к ней воздухом или агрегатом из пластинки и воздуха (которое повторяется многократно в различных местах трактата), то его надо понимать скорее как способ описания явления, чем как объяснение физической сущности явления; во всяком случае в этом вопросе Галилей проявляет большую осторожность, как это видно, например, из его рассуждений по поводу «магнетических» свойств воздуха.

Следующий раздел трактата — о плавании в воде тел различной формы, более тяжелых по удельному весу, чем вода, — нуждается только в одном общем замечании: в целях упрощения геометрических исчислений Галилей пренебрегает наличием выпуклых бортиков воды, расположенных по периметру верхнего основания опущенного в воду тела, и представляет себе объем, заполненный воздухом, в виде призмы или цилиндра с тем же основанием; некоторые исчисления Галилея, могущие затруднить читателя, снабжены отдельными примечаниями.

Заключительная часть трактата посвящена полемике Галилея с аристотелианцами по тому же «главному пункту» и разбору спора между Аристотелем и Демокритом, в котором Галилей берет под свою защиту некоторые положения последнего. Она весьма интересна для характеристики как некоторых учений древних греческих философов, так и отдель-

ных физических теорий, существовавших еще во времена Галилея; мы видим, как Галилей, защищая свою точку зрения, что только разница в удельном весе обуславливает движение тела в данной среде, вынужден оперировать четырьмя элементами древних, понятиями пустого и полного и т. д.

11. «...la pulsione negli elementi».

12. Путь h — высота валика воды AI и h' — высота тела OI ; пусть, далее, v' и g' — объем и соответственно вес тела IS , g — вес воды в объеме этого тела, V и G — объем и соответственно вес тела $ABSO$.

Тогда имеем:

$$h : h' = (g' - g) : g.$$

Отсюда

$$(h + h') : h' = g' : g$$

и, обратно,

$$g : g' = h' : (h + h').$$

Но

$$h' : (h + h') = v' : V = g : G$$

(если заменить объемы весом воды, взятой в тех же объемах). Из второй и последней пропорции имеем, следовательно, что

$$g = G,$$

т. е. что вес тела IS равен весу воды, взятой в объеме тела AS .

13. Обозначим соответственно объем, абсолютный и удельный вес тел A , B , C буквами v' , v'' , v''' ; g' , g'' , g''' ; γ' , γ'' , γ''' ; объем тела AC будет, оче-

видно, равен $v' + v''$, а вес $g' + g''$; заметим, далее, что

$$v' = v'' \text{ и } \gamma' = \gamma''.$$

По условию $(v' + v'') : v'' = \gamma' : \gamma''$;
и по построению $g'' : g''' = \gamma'' : \gamma''' = \gamma' : \gamma'$,
следовательно,

$$g'' : g''' = (v' + v'') : v'' = (v' + v'') : v''$$

Но

$$(v' + v'') : v'' = (g' + g'') : g'',$$

откуда

$$g'' : g''' = (g' + g'') : g''$$

и, следовательно,

$$g' + g'' = g''.$$

14. Пусть h — высота валика DB , H — высота конуса ABC или цилиндра EC , V — объем того же цилиндра, v — объем цилиндра DC и v' — объем конуса ABC , имеющего удельный вес γ' .

По условию $\gamma' : \gamma = h : \frac{1}{3}H$.

Из чертежа видно, что

$$v : V = h : H, \quad V : v' = H : \frac{1}{3}H.$$

Следовательно,

$$v : v' = h : \frac{1}{3}H,$$

откуда

$$v : v' = \gamma' : \gamma$$

и согласно лемме

$$g' = g.$$

15. «secundum quid».



ТРАКТАТЫ
О
РАВНОВЕСИИ ЖИДКОСТЕЙ
И
ВЕСЕ МАССЫ ВОЗДУХА,
СОДЕРЖАЩИЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ПРИЧИН
РАЗЛИЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИРОДЫ,
КОТОРЫЕ ДО СИХ ПОР НЕ БЫЛИ
ДОСТАТОЧНО ИЗВЕСТНЫ
И
В ЧАСТНОСТИ ТЕХ, КОТОРЫЕ
ПРИПИСЫВАЛИСЬ БОЯЗНИ.
ПУСТОТЫ,
ПАСКАЛЯ.



TRAITEZ
DE
L'EQUILIBRE
DES LIQUEURS,
ET
DE LA PESANTEUR
DE LA
MASSE DE L'AIR:

Contenant l'explication des causes de divers
effets de la nature qui n'avoient point esté
bien connus jusques-icy, & particuliere-
ment de ceux que l'on avoit attribuez à
l'horreur du Vuide.

Par Monsieur PASCAL.



A PARIS,

GUILLEAUME DESPREZ, Imp. & Lib. ordina-
ire, rue S. Jacques, à S. Prosper & aux trois Vertus,
à-vis la porte du cloistre des Mathurins.

M. DC. XCVIII.

AVEC PRIVILEGE DU ROY.

Факсимиле титульной страницы трактатов Паскаля
«О равновесии жидкостей» и «О весе массы воздуха»
в парижском издании 1698 г.



ГЛАВА I

О ТОМ, ЧТО ЖИДКОСТИ ИМЕЮТ ВЕС, СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ВЫСОТЕ ИХ СТОЯНИЯ 1



Если прикрепить к стене несколько сосудов, один такой, как на фигуре первой, другой наклонный, как на второй, затем более широкий, как на третьей, потом узкий, как на четвертой, затем такой, который представляет собою не что иное, как узкую трубку, примыкающую внизу к широкому, но не имеющему почти высоты сосуду, как на фигуре пятой, наполнить их все водой до одинаковой высоты, сделать у всех внизу одинаковые отверстия, каковые закрыть пробками, чтобы удержать воду, то опыт покажет, что нужна одинаковая сила для того, чтобы воспрепятствовать этим пробкам выпасать, хотя вода в этих различных сосудах находится в весьма различных количествах. Происходит это потому, что вода имеет одинаковую высоту во всех сосудах, и мерой указанной силы является вес воды, содержащейся в пергом

сосуде, однородном по своей форме. И если это количество воды весит сто фунтов, то нужна сила в сто фунтов, чтобы удерживать каждую из пробок, даже и у пятого сосуда, хотя вода, заключенная в нем, не весит и одной унции (фиг. I—V).

Чтобы проверить это точно, надо закрыть отверстие пятого сосуда круглым куском дерева, обернутым прядью, как поршень насоса, каковой кусок должен входить в отверстие и проходить через него с такой точностью, чтобы не застревать и в то же время препятствовать выходу воды, затем прикрепить к середине этого поршня нитку, которая проходила бы через эту тонкую трубку, привязать ее к одному плечу коромысла весов, а на другое плечо повесить груз в сто фунтов; тогда мы увидим полное равновесие этого груза в сто фунтов с водой в тонкой трубке, каковая вода весит одну унцию; если же хотя немного уменьшить груз в сто фунтов, то вес воды опустит поршень, а следовательно, и то плечо коромысла весов, к которому он прикреплен, и поднимет то, на котором висит груз немного менее ста фунтов. Если эта вода замерзнет, а лед не пристынет к сосуду, то, чтобы удержать его в равновесии, достаточно будет иметь на другом плече коромысла весов всего лишь одну унцию; если же приблизить к сосуду огонь и растопить лед, то понадобятся уже сто фунтов, чтобы уравновесить тяжесть этого льда, расплавленного в воду, хотя мы расплагаем всего только одной унцией ее.

То же произойдет, если отверстия, которые закрываются пробками, будут сбоку или же в верхней части сосудов; проверить это будет еще легче, именно следующим образом.

Пло взять сосуд, закрытый со всех сторон, сделать в верхней части его два отверстия, одно очень узкое, а другое более широкое, и укрепить над тем и другим трубки такого же размера, как и отверстия; если вставить теперь в широкую трубку поршень, а в тонкую налить воды, то легко видеть, что на поршень надо будет положить большой груз, чтобы все воды в тонкой трубке не вытолкнул его вверх, подобно тому как в первых опытах нужна была сила в сто фунтов, чтобы воспрепятствовать выталкиванию поршня вниз, когда и отверстие находилось внизу. Если бы отверстие находилось сбоку, то нужна была бы такая же сила, чтобы вес воды не вытолкнул поршень в сторону (фиг VI).

И если бы трубка, заполненная водой, была во сто раз шире или во сто раз уже, но вода стояла бы во всех случаях на одной высоте, то всегда понадобился бы один и тот же груз, чтобы уравновесить воду; как только груз этот будет уменьшен, вода опустится и поднимет уменьшенный груз.

Если же налить воду в трубку на двойную высоту, то для уравнивания воды понадобится действие на поршень двойного груза; точно так же, если сделать отверстие, в которое вставлен поршень,

правило о силе,
необходимой для
удержания воды

Если же налить воду в трубку на
двойную высоту, то для уравни-
вания воды понадобится дей-

вдвое большего размера, то надо будет удвоить и силу, необходимую для удержания удвоенного поршня. Отсюда видно, что сила, нужная для того, чтобы воспрепятствовать воде вытекать из отверстия, пропорциональна высоте стояния воды, а не ширине сосуда, и что мерой этой силы всегда является вес воды, заключающейся в колонне ее, с высотой, равной высоте стояния воды, и основанием, равным величине отверстия.

То, что я сказал о воде, относится и ко всем другим видам жидкостей.

ГЛАВА II

ПОЧЕМУ ЖИДКОСТИ ИМЕЮТ ВЕС, СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ВЫСОТЕ ИХ СТОЯНИЯ

Из всех этих примеров видно, что тонкий столбик воды удерживает в равновесии большой груз; остается показать, какова причина этого увеличения силы; мы сделаем это на следующем опыте.

Если сосуд, наполненный водою новый вид машины для увеличения сил и закрытый со всех сторон, имеет два отверстия, одно во сто раз больше другого, которые прикрыты точно пригнанными к ним поршнями, то один человек, надавливающий на малый поршень, уравновесит силу ста человек, надавливающих на поршень в сто раз больший, и преодолест силу девятидесяти девяти (фиг. VII).

И каково бы ни было отношение этих отверстий, всегда, когда силы, приложенные к поршням, одно-

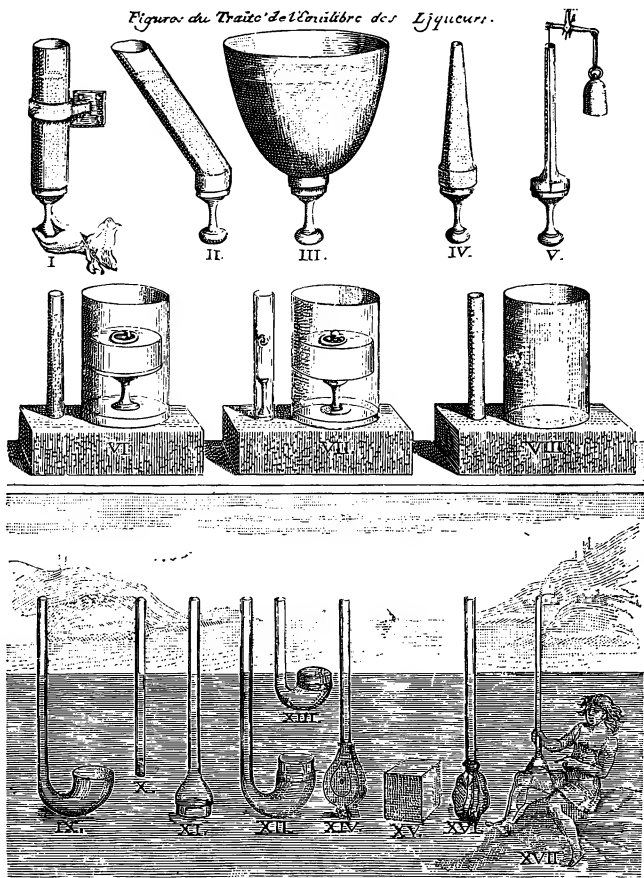


Таблица рисунков
из трактата «О равновесии жидкостей» Паскаля.

сятся друг к другу, как отверстия, то силы эти будут в равновесии. Отсюда следует, что сосуд, наполненный водою, является новым принципом механики и новой машиной для увеличения сил в желаемой степени, потому что при помощи этого средства человек может поднять любую предложенную ему тяжесть.

Надо признать, что в этой новой машине проявляется тот же постоянный закон, который наблюдается и во всех прежних, как то: рычаге, блоке, бесконечном винте и т. д., и который заключается в том, что путь увеличивается в той же пропорции, как и сила. Ибо очевидно, что если одно из этих отверстий во сто раз больше другого, то человек, который давит на малый поршень и опускает его на дюйм, вытолкнет другой поршень лишь на одну сотую часть дюйма. В самом деле, этот толчок происходит вследствие непрерывности воды, соединяющей один поршень с другим и обуславливающей то, что один поршень не может двигаться, не толкая другого; поэтому, когда малый поршень продвинется на один дюйм, то вода, которую он вытеснил, встретит, толкая другой поршень, отверстие во сто раз большее и займет по высоте лишь сотую часть дюйма. Таким образом путь относится к пути, как сила к силе. Это можно даже принять за истинную причину указанного явления, так как ясно, что совершенно безразлично, заставить ли сто фунтов воды пройти путь в один дюйм или один фунт воды — путь в сто

дюймов; и если фунт воды так связан со ста фунтами ее, что сто фунтов не могут сдвинуться на один дюйм, без того чтобы не передвинуть один фунт на сто дюймов, то они необходимо должны находиться в равновесии, ибо один фунт имеет столько же силы, чтобы заставить сто фунтов сделать путь в один дюйм, сколько сто фунтов для того, чтобы заставить один фунт сделать путь в сто дюймов.

Для еще большего пояснения можно добавить, что вода под этими двумя поршнями сжата одинаково, потому что, если один поршень несет груз в сто раз больший, чем другой, то зато он касается и во сто раз большего числа частиц воды, так что каждый поршень давит одинаково; следовательно, все частицы должны быть в покое, ибо нет никакого основания, почему бы одна должна была уступать другой. Таким образом, если сосуд, наполненный водой, имеет только одно отверстие, размером, например, в один дюйм, в которое вставлен поршень, нагруженный весом в один фунт, то вес тот вследствие непрерывности и жидкого состояния воды оказывает давление вообще на все части сосуда; а чтобы определить, какое давление испытывает каждая часть, — вот правило: каждая часть, размером, как и отверстие, в один дюйм, подвергается такому же давлению, как если бы на нее действовал груз в один фунт (не считая веса воды, о котором я здесь не говорю, так как я имею в виду только

груз на поршне), потому что именно этот вес в один фунт давит на поршень, находящийся в отверстии; и каждая часть сосуда, большая или меньшая по размеру, испытывает большее или меньшее давление, соответствующее в точности ее величине, независимо от того, находится ли она против отверстия, сбоку, далеко или близко, потому что непрерывность и жидкое состояние воды уравнивает и делает безразличными эти обстоятельства. Таким образом нужно, чтобы материал, из которого сделан сосуд, имел во всех своих частях достаточное сопротивление, чтобы выдержать все эти усилия. Если сопротивление какой-нибудь части будет меньше, то она лопнет; если больше, то она окажет нужное противодействие; однако излишек прочности в данном случае будет бесполезным. Точно так же, если сделать новое отверстие в этом сосуде, то чтобы остановить воду, которая из него полетится, необходима будет сила, равная тому сопротивлению, которое эта часть должна оказывать, т. е. сила в один фунт, если это отверстие таково же по величине, как и первое.

Вот еще доказательство, которое будет понятно только одним геометрам и может быть опущено другими.

Я принимаю за принцип, что никогда тело не движется под действием своего веса без того, чтобы центр тяжести его не понижался. Отсюда я вывожу, что два поршня, изображенные на фиг. VII, находятся в равновесии.

Действительно, их общий центр тяжести лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов; пусть теперь эти поршни, если только это возможно, сдвинутся; при этом их пути будут относиться между собою, как мы уже показали, обратно их весам. Но если отыскать общий центр тяжести их для этого второго положения, то он окажется в том же точно месте, как и в первом случае, потому что он всегда лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов; таким образом вследствие параллельности направлений их путей он всегда будет находиться на пересечении двух линий, соединяющих центры тяжести их в двух положениях. Следовательно, общий центр тяжести будет находиться в той же точке, как и прежде, и потому два этих поршня, рассматриваемые как одно тело, должны бы были сдвинуться без понижения их общего центра тяжести; это, однако, противоречит принципу, и потому они сдвинуться не могут, а должны оставаться в покое, т. е. в равновесии, что и требовалось доказать.

Этим методом я доказал в небольшом Трактате по механике причину всех увеличений сил, которые имеют место во всяких других механических приборах, изобретенных до сего времени. Ибо я нахожу повсюду, что неравные грузы, находящиеся в равновесии и обуславливающие выгодность применения

машин, располагаются благодаря самому устройству этих последних таким образом, что общий центр тяжести грузов не может никогда понизиться, какое бы положение они ни занимали. Отсюда следует, что они должны оставаться в покое, т. е. в равновесии.

Итак, примем за несомненную истину, что, если в сосуде, наполненном водою, имеются отверстия, к которым приложены силы, пропорциональные их площадям, то силы эти находятся в равновесии. В этом состоит основание и смысл равновесия жидкостей, несколько примеров которого мы сейчас приведем.

Этот механический прибор для увеличения сил, если хорошо понять его сущность, выявляет причину, по которой жидкости имеют вес, соответствующий высоте их стояния, а не ширине сосудов,

во всех случаях, о которых мы говорили выше.

Так, на фиг. VI видно, что вода в маленькой трубке уравнивает поршень, нагруженный ста фунтами; действительно, нижний сосуд является сам по себе сосудом, наполненным водою и имеющим два отверстия; к одному из них примыкает большой поршень, а к другому — вода в трубке, являющаяся в сущности таким же поршнем и имеющая собственный вес, который и должен уравнивать вес другого поршня, если их веса относятся между собою, как площади соответствующих отверстий,

Так же и на фиг. V вода в тонкой трубке находится в равновесии с грузом в сто фунтов, потому что нижний сосуд, широкий, но небольшой по высоте, является сосудом, закрытым со всех сторон, наполненным водою и имеющим два отверстия, — одно внизу, широкое, где находится поршень, и другое — наверху, узкое, где помещена маленькая трубка. Вода в такой трубке является, собственно говоря, поршнем, имеющим собственный вес и уравнивающим другой вследствие пропорциональности весов и площадей отверстий, а также того обстоятельства, что, как уже указывалось выше, совершенно безразлично, расположены ли эти отверстия друг против друга или нет.

Отсюда видно, что вода в этих трубках играет ту же роль, как и медные поршни того же веса, ибо медный поршень, весящий одну унцию, будет точно так же находиться в равновесии с грузом в сто фунтов, как и маленький столбик воды, весящий одну унцию.

Таким образом причина того явления, что небольшой груз уравнивает груз более тяжелый, которое наблюдается во всех этих примерах, лежит не в том, что тела, которые весят так мало и которые уравнивают гораздо более тяжелые, сами состоят из жидкого вещества.

Действительно, это не было непременно условием во всех опытах, потому что и там, где маленькие медные поршни уравнивали более тяжелые,

оказывалось то же самое. Причина состоит в том, что вещество, которое содержится в сосудах и заполняет их от одного отверстия до другого, — жидкое, ибо это именно обстоятельство является общим для всех примеров. Это и есть истинная причина такого увеличения силы.

Точно так же, если, в примере на фиг. V, вода, находящаяся в маленькой трубке, замерзнет, а вода, находящаяся в широком нижнем сосуде, останется жидкой, то понадобятся сто фунтов, чтобы удерживать вес этого льда. Если же замерзнет вода, находящаяся в нижнем сосуде, то независимо от того, замерзнет ли вода в другом сосуде или останется жидкой, понадобится только одна унция, чтобы уравновесить ее.

Отсюда, кажется, становится вполне ясным, что жидкое состояние тела, простирающегося от одного отверстия до другого, является причиной увеличения сил. Это и есть основание тому, что, как мы уже говорили, сосуд, наполненный водой, представляет собою механический прибор для увеличения сил.

Перейдем к другим явлениям, причину которых открывает нам эта машина.

ГЛАВА III

ПРИМЕР И ПРИЧИНЫ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Пусть сосуд, наполненный водой, имеет два отверстия, к каждому из которых приделана трубка; если в последние налить воды до одинаковой высоты,

то оба столба жидкости будут в равновесии (фиг. VIII).

Так как высоты столбов жидкости одинаковы, от веса их будут относиться между собою, как их толщины, т. е. как площади отверстий. Объемы воды, находящейся в этих трубках, явятся как бы двумя поршнями, веса которых пропорциональны площадям отверстий, почему, согласно предыдущим доказательствам, оба столба воды и будут в равновесии.

Отсюда следует, что если на-
 почему вода подни- ливать воду только в одну из
 мается так же высо- этих трубок, то она будет под-
 ко, как ее источник нимать воду в другой до тех пор, пока та не до-
 стигнет одинаковой с ней высоты; после этого оба
 столба жидкости останутся в равновесии, потому
 что это будут два поршня, имеющие веса, пропор-
 циональные площадям отверстий.

Это есть причина, по которой вода поднимается так же высоко, как ее источник.

эти опыты можно
 производить, лишь
 наполняя сосуд до
 отверстия трубок
 жидкостью, более
 тяжелой

Если в трубки налить различ-
 ные жидкости, например воду в
 одну и ртуть в другую, то обе
 эти жидкости придут в равнове-
 сие, когда их высоты станут про-
 порциональны их весам, т. е. когда высота столба
 воды будет в четырнадцать раз больше высоты
 столба ртути, потому что ртуть сама весит в четыр-
 надцать раз больше, чем вода. Это будут два

поршня, один из воды, а другой из ртути, веса которых пропорциональны площадям отверстий.

И даже если трубка с водой будет во сто раз тоньше, чем та, где находится ртуть, то этот маленький столбик воды удержит в равновесии всю большую массу ртути, лишь бы он был в четырнадцать раз больше по высоте.

Все, что мы говорили до сего времени о трубках, должно относиться и к сосудам, каковы бы они ни были, правильной формы или нет, потому что здесь имеет место то же равновесие. Так что если вместо тех двух трубок, которые мы представляли себе примкнутыми к отверстиям, приставить к последним два так же плотно примыкающих сосуда, которые будут в некоторых местах широкими, в других узкими или, наконец, совсем неправильными по форме, и наполнить их жидкостями до указанной нами высоты, то последние будут находиться в равновесии и в этих неправильных трубках, точно так же, как и в правильных. Причина этому та, что давление жидкостей соответствует только высоте их стояния, но не ширине сосудов.

И доказать это очень легко, вписав в тот и другой сосуд несколько маленьких правильных трубок; тогда на основании только что доказанного будет видно, что две из этих вписанных трубок, соответствующие одна другой в обоих сосудах, находятся в равновесии. И все трубки одного сосуда будут в равновесии со всеми трубками другого. Те, кто при-

вык к геометрическим вписываниям и описываниям, поймут это без малейшего затруднения; другим же, менее сведущим, доказать это будет очень трудно, по крайней мере, геометрическим путем.

Если опустить в реку трубку с загнутым нижним концом, наполненную ртутью, таким, однако, образом, чтобы верхний конец ее выступал из воды, то ртуть частично выльется, и уровень ее понизится до некоторой высоты; далее он понижаться уже не будет и останется в таком положении, при котором высота ртути будет составлять четырнадцатую часть высоты воды над загнутым концом. Таким образом, если высота воды над загнутым концом составляет четырнадцать футов, то уровень ртути будет падать до тех пор, пока не достигнет высоты всего в один фут над загнутым концом, на каковой высоте он и остановится; вес ртути, действующий внутри, будет уравниваться весом воды, действующим снаружи трубки, потому что жидкости эти имеют высоты стояния, пропорциональные их весам, ширина же их для равновесия безразлична. По той же причине совершенно безразлично, будет ли загнутый конец широким или нет, а равно мало или много воды давит на него (фиг. IX).

Точно так же, если опускать трубку глубже, то ртуть поднимается, потому что вес воды становится большим, и наоборот, если ее поднимать, то ртуть падает, так как вес ее превышает вес воды. Если трубку наклонять, то ртуть поднимается, до тех пор,

пока не достигнет необходимой высоты, уменьшенной наклоном трубки, ибо наклоненная трубка не имеет той высоты, как стоящая отвесно.

То же самое происходит в обыкновенной трубке, т. е. и не загнутой. Если такую трубку, открытую сверху и снизу, наполнить ртутью и опустить в реку так, чтобы верхний конец ее выступал из воды, а нижний конец отстоял от уровня воды на четырнадцать футов, то ртуть будет вытекать, до тех пор пока высота ее не станет равной одному футу; и так она останется висеть под действием веса воды. Почему это происходит, легко понять; действительно, вода, касаясь ртути снизу, а не сверху, стремится вытолкнуть ее кверху, как поршень, причем это усилие тем больше, чем больше высота воды. Так как вес этой ртути имеет столько же силы, чтобы упасть, сколько вода, чтобы вытолкнуть ее кверху, то все и остается уравновешенным (фиг. X).

Если бы в трубке не было ртути, то ясно, что вода вошла бы в нее и поднялась на высоту четырнадцати футов, т. е. до уровня ее в реке. Так как, однако, фут ртути весит столько же, сколько эти четырнадцать футов воды, место которых он занял, то естественно, что он держит воду в таком же равновесии, как держали его эти четырнадцать футов воды.

Если же опустить трубку в воду настолько, что верхний конец ее погрузится, то вода войдет

в трубку, и ртуть вытечет: так как вода весит столько же внутри, как и снаружи трубки, то ртуть останется без необходимого для ее удержания противовеса.

ГЛАВА IV

О РАВНОВЕСИИ ЖИДКОСТИ И ТВЕРДОГО ТЕЛА

Теперь мы дадим примеры равновесия воды и массивных тел, например медного массивного цилиндра. Его можно заставить плавать в воде следующим образом.

Надо взять очень длинную трубку, например в двадцать футов, которая расширялась бы к нижнему концу наподобие так называемой воронки; этот нижний конец должен быть круглым; в него надо вставить медный цилиндр, обточенный с такой точностью, чтобы он мог входить и выходить в отверстие этой воронки и перемещаться в ней, однако, так, чтобы вода совершенно не могла проходить между ним и стенками воронки; таким образом он будет служить поршнем. Опуская цилиндр вместе с воронкой в реку так, однако, чтобы конец трубки выступал из воды, держа трубку в руке и предоставляя медный цилиндр самому себе, мы увидим, что этот массивный цилиндр не падает, а остается подвешенным, потому что вода касается его снизу, а не сверху, ибо она не может войти в трубку; таким образом вода толкает его кверху совершенно так

же, как в предыдущем примере она толкала ртуть, и притом с такой же силой, с какой медный груз стремится упасть; и оба эти противоположные усилия уравниваются. Правда, для достижения такого эффекта нужно, чтобы груз был глубоко в воде, дабы последняя имела необходимую для уравнивания меди высоту; если, например, цилиндр имеет высоту в один фут, то нужно, чтобы от уровня воды до основания цилиндра было девять футов, так как медь сама по себе весит в девять раз больше воды; если же вода не будет иметь достаточной высоты, что произойдет, например, если вынимать трубку из воды, то вес таковой уменьшится, и цилиндр упадет; если, наоборот, опустить трубку глубже, чем следует, например на двадцать футов, то не только цилиндр не сможет упасть под действием своего веса, но понадобится еще употребить большое усилие, чтобы его отделить и извлечь из воронки, так как вес воды толкает его кверху с силой, соответствующей высоте воды в двадцать футов.

Если же пробить трубку, то вода войдет в нее и будет давить на цилиндр одинаково как сверху, так и снизу; тогда под действием своего веса цилиндр упадет, как и ртуть в другом примере, ибо не будет больше противовеса, который бы его поддерживал (фиг. XI).

Если трубка, которую мы только что описали, будет изогнута, и мы вставим в нее деревянный

цилиндр, а затем опустим весь прибор в воду так, чтобы верхний конец попрежнему выступал из воды, то дерево не поднимется, хотя вода и будет его окружать; наоборот, оно войдет глубже в трубку, потому что вода касается его сверху, а не снизу; так как она сама не имеет возможности войти в трубку, то она давит на дерево всем своим весом вниз, а отнюдь не вверх, ибо она не касается его снизу (фиг. XII).

Если бы цилиндр этот находился как раз на уровне воды, т. е. был погружен лишь настолько, чтобы вода не стояла над ним, а сам он не выступал бы из воды, то он не мог бы быть вытолкнут весом воды ни кверху, ни книзу, потому что она не касается его ни сверху, ни снизу, не имея возможности войти в трубку и соприкасаясь с ним лишь с боков. Вследствие этого он не поднимется, так как его ничто не поднимает, а, наоборот, упадет, но лишь под действием своего собственного веса (фиг. XIII).

Если бы нижний конец трубки был повернут в сторону, наподобие посоха, туда вставлен цилиндр, и все это опущено в воду так, чтобы верхний конец трубки попрежнему выступал из воды, то вес воды втолкнул бы цилиндр сбоку внутрь трубки, потому что вода не касается его с противоположной стороны.

И действовать таким образом она будет с тем большей силой, чем больше ее высота.

ГЛАВА V

О ТЕЛАХ, КОТОРЫЕ СОВЕРШЕННО ПОГРУЖЕНЫ
В ВОДУ

Мы видели выше, что вода выталкивает кверху тела, которых она касается снизу, что она толкает книзу те, которых касается сверху, и что она толкает в сторону те, которых касается с противоположной стороны. Отсюда легко заключить, что когда тело полностью погружено в воду, то вода, касающаяся его сверху, снизу и со всех сторон, стремится толкать его и кверху, и книзу, и во все стороны. Но так как высота воды является мерилем той силы, которую вода проявляет во всех этих давлениях, то очень легко видеть, какое из этих усилий будет оказывать преобладающее действие.

Действительно, прежде всего ясно, что так как вода имеет одинаковую высоту по отношению ко всем боковым поверхностям тела, то она давит на них одинаково, и потому тело это не получит никакого сдвига ни в какую сторону, подобно флюгеру, находящемуся под действием двух одинаковых ветров; но так как вода имеет большую высоту по отношению к нижней поверхности тела, чем к верхней, то ясно, что она будет более толкать его вверх, чем вниз; а так как разность этих высот воды равна высоте самого тела, то легко понять,

что вода будет толкать его более кверху, чем книзу, с силой, равной весу объема воды, занимаемого телом (фиг. XV).

ТЕЛО, НАХОДЯЩЕЕСЯ В
ВОДЕ, УРАВНОВЕШИ-
ВАЕТСЯ РАВНЫМ ОБЪЕ-
МОМ ВОДЫ

Таким образом тело, погруженное в воду, поддерживается такой же силой, как если бы оно находилось на одной чашке весов, другая чашка которых нагружена объемом воды, равным объему тела.

ОТКУДА СЛЕДУЕТ, ЧТО
НЕКОТОРЫЕ ТЕЛА В НЕЙ
ПАДАЮТ

Отсюда ясно, что если тело сделано из меди или из иного вещества, которое весит больше, чем вода в том же объеме, то оно падает, потому что вес его превосходит тот, который его уравнивает.

ДРУГИЕ ПОДНИМАЮТСЯ
ИЗ НЕЕ

Если тело сделано из дерева или другого вещества, более легкого, чем вода в том же объеме, то оно поднимается в ней со всей силой, на которую вес воды превосходит вес тела.

НЕКОТОРЫЕ ЖЕ НЕ
ПОДНИМАЮТСЯ И НЕ
ОПУСКАЮТСЯ

Если же оно весит столько же, сколько и вода, то оно не падает и не поднимается, как воск, который держится в воде приблизительно около того места, куда его опустили.

Отсюда следует, что ведро из колодца нетрудно поднимать, пока оно находится в воде, и что вес его ощущается только тогда, когда оно начинает из нее выходить; равным образом и ведро, полное воска, нетрудно было бы поднимать, пока оно нахо-

дится в воде. Это не значит, что вода, равно как и воск, имеет в воде иной вес, нежели в воздухе; это только указывает, что, находясь в воде, они имеют противовес, который они теряют, будучи вынутыми из нее; подобным же образом нетрудно поднять одну чашку весов, нагруженную ста фунтами, если другая весит столько же.

Далее ясно, что если медь по-
 МЕДЬ ВЕСИТ
 В ВОЗДУХЕ БОЛЬ-
 ШЕ, ЧЕМ В ВОДЕ
 гружена в воду, то она становится
 всящей менее как раз на вес
 равного ей объема воды, так что, если в воздухе
 она весит девять фунтов, то в воде она весит только
 восемь, ибо вода в том же объеме, создающая проти-
 вовес, весит один фунт; в морской же воде медь
 будет весить еще меньше, потому что морская вода ве-
 сит больше приблизительно на одну сорок пятую часть.

По той же причине, если два
 ДВА ТЕЛА, НАХОДЯ-
 ЩИЕСЯ В РАВНОВЕСИИ
 В ВОЗДУХЕ, УТРАЧИ-
 ВАЮТ ЕГО В ВОДЕ
 тела, одно из меди, другое из
 свинца, равного веса и, следова-
 тельно, разного объема, — ибо ме-
 ди для того же веса требуется большее количество, —
 положить на чашки весов, то они будут в равнове-
 сии; но если весы эти опустить в воду, то тела не
 будут уже больше находиться в равновесии, потому
 что каждое из них встретит противовес объема воды,
 равного его собственному объему; а так как объем
 меди больше, чем объем свинца, то первый будет
 иметь больший противовес, и потому вес свинца
 перетянет.

И ДАЖЕ В СЫРОМ
ВОЗДУХЕ

Точно так же пусть два груза, сделанные из разного материала приведены в полное равновесие с предельной степенью точности, которая только может быть достигнута человеком; эти грузы, если они находятся в равновесии, когда воздух очень сух, то они потеряют его, когда воздух станет сырým.

ВОДА ТОЛКАЕТ СВОИМ
ВЕСОМ ВСЕ ТЕЛА, НА-
ХОДЯЩИЕСЯ В НЕЙ,
КВЕРХУ, А НЕ КНИЗУ

По той же причине, когда человек находится в воде, то вес ее вовсе не толкает его книзу; наоборот, он толкает его кверху; но человек весит больше, чем вода, а потому он в воде опускается, однако, с гораздо меньшей стремительностью, чем в воздухе, так как этому противодействует равный ему объем воды, который весит почти столько же, сколько он сам; если бы человек весил ровно столько же, сколько вода, то он плавал бы. Поэтому, отталкиваясь от земли или делая малейшее усилие против воды, человек поднимается и плавает. В грязевые ванны человек вовсе не может погрузиться; если же его туда погружают, то он поднимается сам по себе.

Равным образом, когда мы купаемся в ванне, нам не составляет никакого труда поднять руку, пока она находится в воде; но когда мы вынем ее оттуда, то почувствуем, что она более не имеет того противовеса в виде равного объема воды, который был у нее, пока она находилась в воде.

КАК ТЕЛА ПЛАВАЮТ

Наконец тела, которые плавают на воде, весят как раз столько, сколько и вода, место которой они занимают, потому что вода, касаясь их снизу, а не сверху, толкает их только вверх.

Вот почему свинцовая пластинка, имеющая выпуклую форму, плавает; благодаря своей форме она занимает в воде большее место по сравнению с тем, которое она заняла бы, будучи массивной. В последнем случае она заняла бы в воде место, равное объему материала, из которого она сделана, а этого было бы недостаточно, для того чтобы ее уравновесить.

ГЛАВА VI

О СЖИМАЕМЫХ ТЕЛАХ, НАХОДЯЩИХСЯ В ВОДЕ

Из всего того, что я изложил, видно, каким образом вода действует на все находящиеся в ней тела, давя на них со всех сторон; отсюда легко вывести, что если в воду будет погружено сжимаемое тело, то она должна будет сжать его по направлению к центру; действительно, она это сделает, как это будет видно из следующих примеров.

Если мехи, имеющие довольно длинную трубку, например в двадцать футов, опущены в воду так, что конец трубки выступает из нее, а маленькие отверстия с одной стороны мехов заткнуты, то открыть эти мехи в воде будет трудно, тогда как в воздухе они открываются без труда; происходит это

потому, что вода сжимает мехи со всех сторон; если же приценить всю необходимую силу и открыть мехи, то как только сила эта ослабнет, они стремительно захлопнутся (вместо того чтобы оставаться открытыми, как это было бы в воздухе) по причине действия веса массы воды, который на них давит. И чем глубже погружены мехи, тем труднее их открыть, потому что надо преодолевать большую высоту воды (фиг. XIV).

Точно так же, если вставить трубку, длиной в двадцать футов, в отверстие мешка, обвязать мешок кругом конца этой трубки, налить в нее ртути до тех пор, пока мешок не наполнится ею, и опустить все это в чан с водой так, чтобы конец трубки выступал из воды, то можно будет заметить, что ртуть поднимется в трубке на некоторую высоту; происходит это по той причине, что вес воды давит на мешок со всех сторон; вследствие этого и ртуть, заключающаяся в нем, испытывает давление, одинаковое во всех точках, за исключением тех, которые лежат в месте входа трубки (потому что вода не имеет туда доступа, ибо трубка, выступающая из воды, препятствует этому), и выталкивается с тех мест, где она испытывает давление, по направлению к тем, где его нет; таким образом она поднимается в трубке до той высоты, на которой она весит столько же, сколько и вода снаружи трубки (фиг. XVI).

Здесь происходит то же самое, как если бы сжимать мешок руками; тогда можно без труда заставить

жидкость, заключающуюся в нем, подняться в трубке; и ясно, что вода, окружающая мешок, давит на него точно таким же образом.

По той же причине, если человек поставит себе на колено конец стеклянной трубки, длиной в двадцать футов, и погрузится в таком положении в чан, полный воды, причем верхний конец трубки будет выступать из воды, то тело его вздуется в том месте, которое находится у отверстия трубки, и там образуется большая опухоль, причиняющая боль, как будто на тело поставлена кровососная банка. Происходит это потому, что вес воды сжимает его тело со всех сторон, за исключением той части, которая находится у отверстия трубки и которой вода не может достигнуть, так как трубка препятствует входу ее туда; тело как бы сдвигается с тех мест, где оно подвергается давлению, к тому, где такового нет; и чем больше высота воды, тем больше эта опухоль. Если воду удалить, то опухоль пропадет; то же произойдет, если налить в трубку воды, потому что вес ее будет действовать на эту часть так же, как и на другие, и в этом месте не должно образоваться опухоли, как ее не образуется в других (фиг. XVII).

Явление это вполне сходно с предыдущим, так как в одном случае ртуть, а в другом — тело человека, будучи сжаты во всех своих частях, за исключением тех, которые находятся у отверстий трубок, вталкиваются в эти последние, поскольку сила веса воды может это сделать.

Если на дно сосуда с водой поместить мешок, в котором находится не очень сильно сжатый воздух, то можно видеть, что он заметно сжимается; по мере же того как мы будем отливать воду, мешок будет постепенно расширяться, так как вес массы воды, находящейся над ним, сжимает его со всех сторон к центру до тех пор, пока упругость этого сжатого воздуха не делается равной весу сжимающей его воды.

Если на дно того же сосуда с водой поместить мешок, наполненный сильно сжатым воздухом, то не будет заметно никакого сжатия. Это не значит, однако, что вода его не сжимает, так как противоположное наблюдается с другим мешком, с мешком, где была ртуть, с мехами и во всех других примерах. Это значит только, что вода не имеет силы заметно сжать воздух, потому что он уже и без того очень сжат. То же мы имеем в сильно натянутой пружине, например в арбалете, которую нельзя уже заметно согнуть умеренной силой, тогда как более слабая пружина сжимается ею очень заметно.

И не следует удивляться тому, что вес воды не сжимает заметно мешка, в то время как его можно гораздо заметнее сжать, надавливая на него сверху пальцем, хотя сжимающая сила будет в этом случае меньше той, с которой давит вода. Причина этой разницы заключается в том, что когда мешок находится в воде, то она давит на него со всех сторон, тогда как при нажатии на него пальцем он

подвергается давлению только в одной части; а когда на него давят только в одном месте, то в нем без труда получается большое углубление, так как соседние части не сжаты, и среди них легко распределяется то, что удаляется из части, подверженной давлению. Таким образом материя, удаляемая давлением в одном месте, распределяется по всем остальным, и каждое из них получает ее понемногу; благодаря этому в данном месте образуется углубление, которое становится очень заметным по сравнению со всеми окружающими его частями, не имеющими такового.

Если же начать давить на все другие части с той же силой, как и на первую, то каждая из них отдаст то, что получила от первой, и возвратится в свое первоначальное состояние, потому что все они будут сами сжаты так же, как и она. И так как теперь будет иметь место лишь одно общее сжатие всех частей по направлению к центру, то нигде не будет более заметно местного сжатия, и судить об этом общем сжатии можно будет лишь сравнивая объем, занимаемый мешком, с тем, который он занимал ранее; а так как объемы эти очень мало отличаются друг от друга, то разницу эту заметить невозможно. Отсюда видно, каково различие между давлением в одном только месте и общим сжатием всех частей.

Это имеет сходство с телом, у которого сжаты все части, за исключением только одной, где образуется вздутие вследствие притока вещества из дру-

гих частей, как было показано на примере человека в воде с трубкой на колене. Точно так же, если мы начнем сжимать тот же мешок руками, то хотя бы мы и старались касаться каждой его части, всегда какая-нибудь из них останется между пальцами, и здесь образуется большое вздутие. Но если бы можно было произвести давление, распределенное повсюду равномерно, то мешок никогда нельзя было бы сжать заметно, какое бы усилие ни употреблять, при условии, что воздух в нем уже достаточно сильно сжат сам по себе; а это именно и происходит, когда он находится в воде, потому что она объемлет его со всех сторон.

ГЛАВА VII

О ЖИВОТНЫХ, КОТОРЫЕ НАХОДЯТСЯ В ВОДЕ

Все это объясняет нам, почему
ПОЧЕМУ ВЕС ВОДЫ НЕ
СЖИМАЕТ ИХ ЗАМЕТНО вода совсем не сжимает животных, находящихся в ней, хотя вообще она и оказывает давление на все тела, окруженные ею, как мы уже показали это на стольких примерах. Это не значит, что она не давит на животных, но, как мы уже говорили, она, касаясь их со всех сторон, не может вызвать ни вздутия, ни углубления в каком-либо отдельном месте, а производит только общее сжатие всех частей к центру, которое не может быть заметно, если оно невелико, и которое может быть лишь чрезвычайно слабым по причине того, что тело животных очень плотно.

Но если бы она касалась только одного места тела или же всех мест, за исключением одного, то при условии значительной высоты действие ее было бы заметно, как это мы уже видели выше; но так как она давит на тело повсюду, то ничего и не проявляется.

Отсюда легко перейти к пониманию той причины, по которой животные, находящиеся в воде, не чувствуют на себе ее веса.

Действительно, боль, которую мы чувствуем, когда что-нибудь давит нас, велика, если давление велико, потому что сжатая часть обескровливается, и мясо, нервы и другие части, составляющие ее, сдвигаются с их естественного места, а такое насилие не может происходить без боли. Но если давление невелико, например когда касаются пальцем кожи так легко, что та часть, до которой дотрагиваются, не обескровливается, ее мясо и нервы не сдвигаются с места, и вообще не происходит никакого изменения, то не должно испытываться и чувствительной боли; если же нас касаются таким образом во всех точках тела, то мы не должны чувствовать от подобного легкого давления никакой боли.

А это именно и происходит с животными, находящимися в воде; вес ее в действительности оказывает на них давление, но такое малое, что оно ни в каком случае не ощущается по только что рассмотренной причине. В самом деле, так как ни одна

часть тела их не сжата, не обескровлена, ни один нерв, вена или мясо не сдвинуты с места, ибо раз все находится под одинаковым давлением, то нет причины, почему они должны сдвинуться к какому-нибудь одному месту, а не другому, и, наконец, все остается без изменения, то, следовательно, тело не должно испытывать ощущения боли.

Пусть не удивляются тому, что животные не ощущают вовсе веса воды, но тем не менее чувствуют, если на них нажать сверху пальцем, хотя в этом случае нажим происходит с меньшей силой, чем это делает вода.

Причина этой разницы состоит в том, что, находясь в воде, они сжаты ею вообще со всех сторон тогда как при нажиме на них пальцем они подвергаются давлению только в одной какой-нибудь части; а мы показали, что эта разница и есть причина, вследствие которой можно произвести заметное сжатие прикосновением конца пальца, тогда как вес воды не производит заметного сжатия, хотя бы он и был больше во сто раз; так как ощущение всегда пропорционально давлению, то эта же разница и является причиной того, что животные чувствуют прикосновение нажимающего на них пальца, но не вес воды.

Таким образом истинная причина, которая обуславливает, что животные в воде не ощущают веса ее, состоит в том, что они сжаты со всех сторон одинаково.

Точно так же, если заключить червяка в тесто и мять последнее в руках, то червяка никогда нельзя ни раздавить, ни повредить, ни даже сжать, потому что он будет подвергаться давлению во всех точках. Следующий опыт подтвердит это: надо взять стеклянную трубку, заткнутую снизу и налитую до половины водой, бросить туда три вещи: небольшой мешок, надутый до половины воздухом, другой — надутый полностью, и муху (которая в тепловатой воде живет так же хорошо, как и в воздухе) и вставить в эту трубку поршень, доходящий до воды. Если нажимать на этот поршень с какой угодно силой, например накладывая на него в большом количестве грузы, то произойдет следующее: сжатая вода будет давить на все, что в ней находится; при этом мягкий мешок сожмется очень заметно, а твердый не будет вовсе сжат, как будто нет ничего, что бы на него давило; то же будет и с мухой: последняя не будет испытывать никакой боли под действием этого большого веса, и можно будет видеть, что она свободно и быстро прогуливается вдоль стекла и даже улетает, будучи освобожденной из этой тюрьмы.

Не надо иметь много знаний, чтобы извлечь из этого опыта выводы, совпадающие с ранее доказанным. В самом деле, ясно, что этот вес давит, поскольку он может, на все тела.

Ясно, что он сжимает мягкий мешок. Следовательно, он давит также и на тот, который находится

рядом, потому что та же причина действует как в одном, так и в другом случае; но из опыта видно, что на последнем не проявляется никакого сжатия.

От чего же происходит эта разница, и откуда она может получиться, как не от того единственного обстоятельства, которым мешки отличаются друг от друга и которое состоит в том, что один мешок весь полон сжатым воздухом, накачанным туда с силой, тогда как другой наполнен лишь наполовину? Таким образом мягкий воздух, содержащийся в одном из мешков, способен к сильному сжатию, другой же не способен, потому что он очень плотен, и сжимающая его вода, окружая его со всех сторон, не может произвести чувствительного сжатия, потому что она давит как бы на образующиеся со всех сторон своды.

Очевидно также, что и животное совсем не сжато; а почему? Конечно, по той же причине, по которой не сжат мешок, сплошь заполненный воздухом. И, наконец, ясно, что животное по той же причине не испытывает никакой боли.

Если поместить на дно той же трубки вместо воды тесто, а в него мешок и ту же муху, сверху же наложить поршень, то, нажимая на него, мы увидим, что произойдет то же самое.

А так как соблюдение условия быть сжатым со всех сторон приводит к тому, что сжатие не может ни ощущаться, ни быть болезненным, то не следует ли согласиться с тем, что это и есть единственная

причина того, что вес воды делается неощутимым для животных, находящихся в ней?

Пусть не говорят более, что это потому, что вода невесома сама по себе, ибо она весит повсюду одинаково; или что вес ее отличается от веса твердых тел, ибо всякий вес по природе своей одинаков. Мы имеем уже пример, когда муха переносит вес твердого тела, не ощущая его.

И если мы пожелаем иметь еще что-либо более доказательное, то вынем поршень и нальем в трубку воды до тех пор, пока вода, заменяющая поршень, не будет весить столько же, сколько и сам поршень; нет сомнения, что муха так же не почувствует веса этой воды, как и веса поршня. Откуда, однако, происходит эта нечувствительность под таким большим весом в этих двух примерах? Оттого ли, что вес этот состоит из воды? Нет, ибо когда вес вызывается плотным телом, происходит то же самое. Признаем же, что это происходит единственно потому, что животное окружено водой, так как только это обстоятельство является общим в обоих приведенных нами примерах.

Таким образом в этом и заключается истинная причина явления.

Точно так же, если случится, что вода, находящаяся над этим животным, замерзнет, но так, что над ним останется немного жидкости, и оно будет вполне окружено ею, то и тогда животное не почувствует веса этого льда, как прежде веса воды.

И если вся вода в реке замерзнет, за исключением слоя в один фут над дном, то рыбы, которые там плавают, так же не будут чувствовать веса этого льда, как и веса воды, в которую он потом обратится.

Итак, животные в воде не чувствуют ее веса не потому, что давление сверху производится водою, а потому, что они окружены водою.



❧ ПРИМЕЧАНИЕ ❧ К ТРАКТАТУ ПАСКАЛЯ О РАВНОВЕСИИ ЖИДКОСТЕЙ

Работа Паскаля, касающаяся равновесия жидкостей, вышла из печати впервые в 1663 г., т. е. через год после его смерти, вместе с работой, посвященной давлению воздуха, под заглавием: «Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pèsanteur de la masse de l'air».

Из предисловия к этим работам, содержащего... «объяснение причин, которые побудили опубликовать эти два трактата после смерти Паскаля, и историю различных опытов, в них описываемых», видно, что они написаны самим Паскалем, который «очень любил краткость» и заменил ими задуманный и частью составленный им большой трактат о давлении воздуха, от которого сохранились лишь немногие отрывки.

Оба указанных трактата были впоследствии переизданы. Так, для перевода мы воспользовались отдельным изданием их, выпущенным в Париже в 1698 г.; в первом полном собрании сочинений Паскаля (*Pascal, Oeuvres*, Paris, 1779) они помещены в томе IV.

Трактат о весе массы воздуха подводит итоги длительным работам Паскаля по изучению атмосферного давления, начатым им в 1644 г., когда до него впервые дошли сведения об опыте Торичелли. Первые результаты своих исследований в этом направлении он опубликовал в маленькой работе «*Expériences nouvelles touchant le vuide*», Paris, 1647 г. В сентябре 1648 г. его зятем Ф. Перье были произведены по просьбе Паскаля известные наблюдения над изменением барометрического давления при восхождении на гору Пюи-де-Дом в Оверне, опубликованные Паскалем под заглавием: «*Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, projetée par le Sieur B. Pascal, pour l'accomplissement du Traité qu'il a promis dans son abrégé touchant le vuide, et faite par le Sieur F. P. en une des plus hautes Montagnes d'Auvergne, appelée vulgairement le Puy-de-Domme*», 1648.

Работы Паскаля над давлением воздуха продолжались и далее. Одновременно вел свои наблюдения и Перье (см. «*Récit des observations faites par Monsieur Perier continuellement jour par jour, pendant les années 1649, 1650 et 1651 en la ville Clermont en Auvergne*» etc.). Однако интерес Паскаля к физико-математическим занятиям постепенно падал, и с 1653 г. он прекратил их вовсе.

Трактаты о равновесии жидкостей и весе массы воздуха написаны Паскалем в 1651—1653 гг., причем основные положения первого трактата используются

во втором, как это и отмечено в нашем «Введении»; оба трактата сопровождаются и общим заключением, которое касается, однако, лишь вопросов о давлении воздуха.

В издании 1698 г., которым мы пользовались для перевода, помимо указанных двух трактатов Паскаля содержатся отрывки из не дошедшей до нас более обширной работы его на ту же тему, оба упомянутых выше «*Récits*», а также заметка «*Nouvelles expériences traitées en Angleterre, expliquées par les principes établis dans les deux Traitez précédens*» etc.

Из всего этого материала мы приводим лишь «*Traité de l'équilibre des liqueurs*», так как в остальных работах не содержится каких-либо данных, непосредственно отвечающих нашей цели. В частности, нет их и в «*Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*» etc., чего можно было бы ожидать по заглавию, так как эта работа сполна посвящена описанию опытов над изменением барометрического давления.

Полный перевод помещаемого здесь трактата о равновесии жидкостей был выполнен покойным инж. В. Н. Степановым и обработан мною. Вследствие чрезвычайной ясности изложения текст этого трактата Паскаля совершенно не нуждается в каких-либо пояснительных замечаниях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	7
А. Н. Долгов. Краткий очерк истории гидростатики	15

АРХИМЕД

О ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛАХ

Книга первая	91
Книга вторая	108
Примечания	110

СТЭВИН

НАЧАЛА ГИДРОСТАТИКИ

Введение	119
Начала гидростатики	122
Начала практических применений гидростатики	184
О плавающих телах, вершина коих нагружена	195
Примечания	200

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

РАССУЖДЕНИЕ О ТЕЛАХ, ПРЕБЫВАЮЩИХ В ВОДЕ, И О ТЕХ, КОТОРЫЕ В НЕЙ ДВИЖУТСЯ

Рассуждение о телах, пребывающих в воде, и о тех, которые в ней движутся	213
Примечания	351

ПАСКАЛЬ

ТРАКТАТ О РАВНОВЕСИИ ЖИДКОСТЕЙ

Стр.

Глава первая	365
Глава вторая	368
Глава третья	375
Глава четвертая	380
Глава пятая	383
Глава шестая	387
Глава седьмая	392
Примечание	399

Рукопись сдана в производство в мае 1932 г.; листы подписаны к печати в январе 1933 г., книга вышла в свет в марте в количестве 4 000; печат. знаков в листе 23000; листов в книге 12³/₄ л. Заказ № 5437. ГТИ № 421
Уполномоченный Главлита № В—39567

Фабрика книги «Красный пролетарий», Москва, Краснопролетарская, 16

АРХИМЕД * СТЭВИН * ГАЛЛЕЙ * ПАСКАЛЬ

АРХИМЕД

*

СТЭВИН

*

ГАЛЛЕЙ

*

ПАСКАЛЬ

